

Н. И. Чепелев, Л. Н. Горбунова

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Рекомендовано учебно-методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» для внутривузовского использования в качестве учебного пособия для студентов по направлениям подготовки 20.0301 «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность технологических процессов и производств в АПК»

Красноярск 2020

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Н. И. Чепелев, Л. Н. Горбунова

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Рекомендовано учебно-методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» для внутривузовского использования в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность технологических процессов и производств в АПК»

Электронное издание

Красноярск 2020

ББК 65.246.95я73

Ч 44

Рецензенты

*В. А. Рогов, д-р техн. наук, профессор, директор
НП «Межрегиональный центр охраны труда», Ассоциация «МЦОТ»
Е. В. Кривенкова, ведущий специалист службы охраны труда,
промышленной безопасности и экологии
ФКП «Аэропорты Красноярья»*

Чепелев, Н. И.

Ч 44 Производственная безопасность [Электронный ресурс]: лабораторный практикум / Н. И. Чепелев, Л. Н. Горбунова; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2020. – 208 с.

Приведены методика выполнения лабораторных работ, контрольные вопросы и задания по каждой теме. Даны описание и схемы измерительных приборов и лабораторных установок для исследования вредных и опасных производственных факторов, а также необходимые нормативные и справочные данные.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность». Может быть использовано студентами при самостоятельной подготовке к выполнению лабораторных работ.

ББК 65.246.95я73

© Чепелев Н. И., Горбунова Л. Н., 2020

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Правила безопасности при выполнении лабораторных работ.....	5
Лабораторная работа № 1 «Исследование запыленности воздушной среды в производственных помещениях весовым методом».....	8
Лабораторная работа № 2 «Экспресс-анализ загазованности воздушной среды с помощью индикаторных трубок».....	18
Лабораторная работа № 3 «Исследование искусственного освещения».....	26
Лабораторная работа № 4 «Исследование естественного освещения».....	58
Лабораторная работа № 5 «Исследование параметров микроклимата в производственных помещениях».....	72
Лабораторная работа № 6 «Исследование эффективности теплозащитных экранов».....	85
Лабораторная работа № 7 «Исследование производственной вибрации».....	93
Лабораторная работа № 8 «Исследование производственного шума».....	111
Лабораторная работа № 9 «Оценка эффективности действия защитного заземления».....	129
Лабораторная работа № 10 «Оценка эффективности действия зануления».....	141
Лабораторная работа № 11 «Анализ и оценка работоспособности устройства защитного отключения».....	152
Лабораторная работа № 12 «Исследование электромагнитного поля, создаваемого телефонами сотовой связи».....	164
Лабораторная работа № 13 «Исследование температуры вспышки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей».....	168
Лабораторная работа № 14 «Исследование процесса тушения пламени в зазоре и выбор взрывозащищенного электрооборудования».....	173
Лабораторная работа № 15 «Первичные средства пожаротушения, расчет грозозащиты объекта и пожарного запаса воды».....	179
Лабораторная работа № 16 «Оказание первой доврачебной помощи при поражении электрическим током».....	192
Заключение.....	206
Литература.....	207

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД) является основополагающей, так как она связана со всеми дисциплинами, изучаемыми студентами всех направлений. Такое особое место дисциплины в профессиональной подготовке специалистов обусловлено тем, что любая деятельность человека потенциально опасна, сопряжена с воздействием нескольких десятков негативных факторов техносферы, а в условиях функционирования технологических процессов на человека в зависимости от типа производства воздействуют опасные и вредные производственные факторы. Дисциплина БЖД связана со всеми технологическими и техническими дисциплинами, которые изучают студенты по своей специальности. Дисциплина ориентирована на широкий диапазон проблем, в том числе обеспечение безопасности и создание безопасных условий труда по микроклимату, световой среде, химическому и пылевому фактору, шуму и вибрации, напряженности трудового процесса и т.д.

При изучении дисциплины БЖД необходимо посещение лекционных занятий, практических занятий и выполнение лабораторных работ.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Правила техники безопасности составлены для студентов, выполняющих лабораторные работы. Они устанавливают основные требования безопасности при работе на экспериментальных установках, с приборами и оборудованием лаборатории.

Общие требования техники безопасности. Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ только после прохождения инструктажа по охране труда на рабочих местах лаборатории. Запись о проведении инструктажа производится в журнале, должна быть заверена подписями проинструктированных студентов и лица, проводившего инструктаж.

К выполнению лабораторной работы студенты могут приступить только после изучения методических указаний по ее выполнению, ознакомления с устройством и правилами использования оборудования и приборов.

При работе на экспериментальных установках возможно возникновение следующих опасных и вредных производственных факторов: высокое напряжение питания электроустановок (все работы), запыленность воздуха и выделение токсичных газов, повышенный уровень шума и вибрации, вращающийся дисбаланс вибратора, повышенное давление пенообразующего раствора, открытое пламя и др.

Для устранения или доведения опасных и вредных производственных факторов до безопасных величин на экспериментальных установках и в лаборатории должны быть предусмотрены следующие средства защиты: зануление и автоматическое отключение электроустановок; герметизация пылевых и газовых выделений и воздушно-механической пены в специальных боксах; вытяжная общеобменная вентиляция; звукоизоляция шумовой камеры; защитный кожух на вибраторе; огневая камера с герметично закрывающейся крышкой для аварийного подавления пламени; наличие световой сигнализации установки для испытаний электрозщитных средств.

Лаборатория должна быть оснащена аптечкой для оказания первой медицинской помощи, автоматическими извещателями системы пожарной сигнализации и огнетушителями типа ОУ-5 (из расчета 1 шт. на каждые 50 м² площади лаборатории).

При несчастном случае студенты должны уметь оказать пострадавшему первую медицинскую помощь.

Студенты несут ответственность за нарушение правил техники безопасности.

Требования техники безопасности перед началом выполнения лабораторных работ. Необходимо проверить наличие и исправность всех предусмотренных средств защиты и пожаротушения, надежность крепления дисбаланса и защитного кожуха на вибрационной установке, исправность блокировок установки для испытаний электрозащитных средств.

Требования техники безопасности во время выполнения лабораторных работ. На занятиях следует выполнять только ту работу, которая предусмотрена программой эксперимента или заданием преподавателя.

Разрешается работать только на исправных экспериментальных установках, с исправными измерительными приборами и инструментами.

Монтаж электрических схем производить только при обесточенной аппаратуре. Монтажные провода должны иметь надежную изоляцию и хорошо пропаянные наконечники.

Подавать напряжение можно только на зануленное или заземленное электрооборудование.

Напряжение можно подавать только с разрешения преподавателя (лаборанта) и под его контролем.

Во избежание поражения электрическим током касаться руками клемм, других токоведущих деталей и поверхности грунта (работа «Исследование напряжения прикосновения и шага») запрещается.

При возникновении каких-либо неисправностей в работе приборов, оборудования немедленно их выключить.

Исследовать запыленность и загазованность воздуха следует только при закрытых панелях пылевой и газовой камер.

Заполнять демонстрационный бокс воздушно-механической пеной следует не более чем на определенный процент объема.

Во избежание создания пожароопасной ситуации пользоваться открытым огнем в зоне всех рабочих мест лаборатории запрещается. Процесс тушения можно исследовать только на открытой площадке

вне здания лаборатории, в специально изготовленной для этого металлической огневой камере.

Требования техники безопасности в аварийных ситуациях. При попадании напряжения на корпус электроустановки немедленно отключить ее. Сообщить об этом преподавателю.

В случае отказа рабочего огнетушителя при тушении очага горения немедленно подавить огонь, закрыв крышку огневой камеры.

При несчастном случае (электрическая травма, ушиб, порез, ожог и т.п.) оказать пострадавшему первую медицинскую помощь.

Требования техники безопасности по окончании выполнения лабораторных работ. Выключить электропитание приборов, оборудования. Навести порядок на рабочих местах. Сдать преподавателю или лаборанту справочную, методическую и другую литературу, приборы, инструменты. Проверить герметичность пылевой и газовой камер.

Лабораторная работа № 1

«Исследование запыленности воздушной среды в производственных помещениях весовым методом»

1. Краткие теоретические сведения

Длительное воздействие повышенных концентраций пыли приводит к возникновению тяжелых профессиональных заболеваний органов дыхания – пневмокониозов и пылевого бронхита.

Нозологическая форма пневмокониозов (*от лат. pнеитоп – легкие и сопia – пыль*) определяется вещественным составом аэрозолей. В промышленности распространены:

- силикоз (наиболее тяжелое заболевание) от воздействия пыли с высоким содержанием диоксида кремния SiO_2 ;
- антракоз – от воздействия угольной пыли;
- антракосиликоз – от воздействия угольно-породной пыли;
- асбестоз – от воздействия асбестовой пыли при добыче, измельчении, производства или транспортирования асбестового волокна. Ранние названия этого заболевания – «волосатое сердце», «матовое стекло» (легкое покрыто как бы вуалью);
- бериллиоз – от воздействия дыма и пыли бериллия (поражают не только дыхательные пути и легкие, но также и кожу);
- биссиноз – от воздействия пыли хлопка.

Ведущим фактором в развитии пневмокониозов является количество пыли, накопившейся в легких. Основными факторами, влияющими на поступление пылевых частиц в организм и их задержку в органах дыхания, являются концентрация пыли во вдыхаемом воздухе и время ее воздействия, размеры частиц (дисперсность), их плотность (удельный вес), растворимость, объем дыхания в зависимости от тяжести труда, а также индивидуальная чувствительность организма.

Механизм первичной задержки частиц в органах дыхания в основном определяется инерционным и гравитационным осаждением, а также диффузией. Задержка частиц в различных отделах органов дыхания в основном определяется их дисперсностью и аэродинамическим диаметром.

При сравнении результатов биологического действия аэрозольных частиц различной формы, размеров, минерального и химического состава их величину выражают через условную единицу, называемую аэродинамическим диаметром, характеризующим количествен-

ные показатели первичного отложения неволокнистых частиц с диаметром более 0,5 мкм за счет гравитационного и инерционного эффектов.

Развитие пневмокониозов определяется накоплением в альвеолах легких пылевых частиц с аэродинамическим диаметром примерно 2,5 мкм. Более крупные частицы диаметром до 8 мкм проникают в альвеолы здорового человека в небольшом количестве, составляя несколько процентов от ингалируемых частиц, однако они гораздо медленнее выводятся из легких. Наименьшее отложение в альвеолярной ткани характерно для пылевых частиц менее 0,5 мкм.

Следствием накопления пыли в легких является развитие *пневмокониоза* – стадийного прогрессирующего процесса формирования фиброза с комплексом воспалительных и компенсаторно-приспособительных реакций в бронхах и легочной ткани. Результатом этих изменений является дыхательная, а в поздних тяжелых стадиях заболевания – сердечная недостаточность.

Аэрозольные частицы диаметром 10 мкм и более оседают в основном в бронхах здорового человека и являются одной из основных причин развития профессионального пылевого бронхита.

Помимо профессиональных заболеваний воздействие на организм работающих высоких концентраций пыли приводит к развитию профессионально обусловленных хронических неспецифических заболеваний легких и верхних дыхательных путей.

Промышленная пыль – образующиеся в процессе производства мельчайшие частицы твердого вещества диаметром более 1 мкм, которые, поступая в воздух, находятся в нем более или менее длительное время во взвешенном состоянии.

Пыль выделяется в результате измельчения твердых веществ (при дроблении, размоле, очистке литья, шлифовке и полировке изделий и т.д.). Превращение различных материалов в порошкообразное состояние перед их переработкой составляет основную операцию при производстве строительных материалов, керамики, стекла, обогащении руд, в порошковой металлургии. Почти все твердые топлива сжигаются также в пылеобразном состоянии. Значительное количество порошкообразных материалов в процессе их изготовления, транспортирования, хранения и переработки под действием воздушных потоков переходит в аэрозольное состояние.

Аэрозоли (от греч. *aer* – воздух и нем. *sol* – раствор) – коллоидные системы, состоящие из дисперсной фазы (твердых или жидких

частиц диаметром 0,1–0,001 мкм), взвешенной в газовой (обычно – воздушной) дисперсионной среде.

Пыль, находящаяся в воздухе, представляет собой один из вредных и опасных химических факторов производственной среды.

Промышленная пыль может поступать в организм человека через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт (чаще всего – через загрязненные руки при еде и курении) или поврежденную и даже неповрежденную кожу.

По характеру воздействия на организм человека химические вредные производственные факторы подразделяются:

- на общетоксические, действующие на центральную нервную систему, кровь и кроветворные органы;

- раздражающие, вызывающие раздражение слизистых оболочек глаз, носа и гортани и действующие на кожные покровы;

- сенсibiliзирующие вещества, которые после относительно непродолжительного воздействия на организм вызывают повышенную чувствительность к этому веществу. Последующие воздействия даже незначительных количеств этого вещества приводят к быстро развивающейся реакции, вызывающей кожные заболевания, астматические явления, болезнь крови;

- канцерогенные, приводящие к развитию новообразований;

- мутагенные, вызывающие нарушения наследственного аппарата человека, отражающиеся на его потомстве.

Опасность химических веществ и их действие на организм человека определяются большим числом факторов, из которых основными являются:

- физико-химические свойства вещества, его агрегатное состояние, летучесть, растворимость. Наиболее опасны вредные вещества, находящиеся в паро-, газо-, дымо- и туманообразном состоянии, так как при этом велика вероятность попадания их в органы дыхания, в легкие, откуда они быстро переносятся в кровь;

- внешние условия, продолжительность воздействия и концентрация. Когда люди выполняют тяжелую физическую работу или находятся в условиях высокой температуры, у них происходит нарушение терморегуляции, наблюдаются усиленное выделение пота и потеря воды, а также ускорение многих биохимических процессов. Учащение дыхания, усиление кровообращения, расширение сосудов кожи и слизистых оболочек ведут к увеличению поступления ядов через легкие и кожные покровы, поэтому опасность отравления возрастает. Ал-

коголь усиливает токсическое действие почти всех ядовитых продуктов. Организм подростков в 2–3 раза (до 10 раз в отношении некоторых веществ) более чувствителен к ядам, чем организм взрослого.

Пыли твердых веществ и материалов, способных гореть, также может воспламеняться, а при определенных концентрациях в смеси с воздухом взрываться.

Отравление веществами, находящимися в газо- или парообразном состоянии или в виде пыли, возможно при концентрации в воздухе рабочей зоны, превышающей **предельно допустимую концентрацию** (ПДК). То есть концентрацию вредных веществ, которая при ежедневной (кроме выходных дней) 8-часовой или другой продолжительности рабочего дня, но не более 41 ч в неделю в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы человека или в отдаленные сроки жизни настоящего или последующих поколений.

По степени воздействия на организм человека вредные вещества по ГОСТ 12.1.007 подразделяют на четыре класса:

1-й – чрезвычайно опасные – ПДК менее 0,1 мг/м³;

2-й – высокоопасные – ПДК 0,1–1,0 мг/м³;

3-й – умеренно опасные – ПДК 1,1–10,0 мг/м³;

4-й – малоопасные – ПДК более 10,0 мг/м³.

Гигиенические требования к состоянию воздушной среды в помещениях устанавливают:

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие требования безопасности. – М., 1988;

ГН 2.2.5.2100-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М., 2006;

ГН 2.2.5.2710-10 Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М., 2010.

В качестве примера в таблице 1.1 приведены характеристики веществ, опасных для развития острого отравления.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (действуют на одни и те же системы организма) сумма отношений фактических концентраций каждого из них (K_1, K_2, \dots, K_n) в воздухе и их ПДК ($ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$) не должна превышать единицы.

Для оценки степени воздействия на органы дыхания человека определяют пылевую нагрузку за весь период реального или предполагаемого контакта с фактором, т.е. величину дозы пыли, которую рабочий вдыхает за весь период профессионального контакта с пылью:

$$ПН = К \cdot N \cdot T \cdot Q, \text{ мг,}$$

где К – фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника, мг/м³; N – число рабочих смен в календарном году; T – количество лет контакта с пылевым фактором; Q – объем легочной вентиляции за смену.

Рекомендуется использовать следующие усредненные величины объемов легочной вентиляции, которые зависят от уровня энергозатрат и соответственно категорий работ по тяжести:

- для работ категорий Ia–Iб – Q = 4 м³;
- категорий IIa–IIб – Q = 7 м³ и категории III – Q = 10 м³.

Полученные значения фактической ПН сравнивают с величиной контрольной пылевой нагрузки (КПН), сформировавшейся при условии соблюдения среднесменной ПДК пыли в течение всего периода профессионального контакта с пылевым фактором. Значение КПН рассчитывают в зависимости от фактического или предполагаемого стажа работы T, ПДК пыли и категории работ по тяжести:

$$КПН = ПДК \cdot N \cdot T \cdot Q, \text{ мг.}$$

Таблица 1.1

Характеристики веществ, опасных для развития острого отравления

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Агрегатное состояние <1>	Класс опасности	Особенности действия <2>
1	2	3	4	5
Азиридин+ (этиленимин)	0,02	п	1	А, Р
Азота диоксид	2	п	3	Р
Азота оксиды (в пересчете на NO ₂)	5	п	3	Р
Арсин (водород мышьяковистый)	0,1	п	1	
Бора трифторид	1	п	2	Р
Бром+	0,5	п	2	Р

Окончание табл. 1.1

1	2	3	4	5
Бут-3-енонитрил+ (аллилцианид)	0,3	п	2	
Гидроцианид (водород цианистый)	0,3	п	1	
Гидроцианида соли+ (в пересчете на гидроцианид)	0,3	п	1	
Гидробромид	2	п	2	Р
Гидросульфид+ (сероводород)	10	п	2	Р
Гидрохлорид	5	п	2	Р
О,О-Диметилсульфат+	0,1	п	1	Р
Кремний тетрафторид (по F)	0,5/0,1	п	2	Р
Пропандинитрил+	0,3	п + а	1	
Метилизоцианат+	0,05	п	1	А, Р
4-Метилфенилен-1,3-диизоцианат+ (толуилендиизоцианат)	0,05	п	1	А, Р
Тетраэтилсвинец+	0,005	п	1	
Углерода оксид <3>	20	п	4	

Примечание: «+» – требуется специальная защита кожи и глаз; <1> Преимущественное агрегатное состояние вещества в воздухе в условиях производства: п – пары и/или газы, а – аэрозоль; <2> Наряду с остронаправленным механизмом действия приведены дополнительные особенности действия вещества: А – аллерген, К – канцероген, Р – раздражающее действие; <3> При длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч ПДК может быть повышена до 50 мг/м³, при длительности работы не более 30 мин – не более 100 мг/м³, при длительности работы не более 15 мин – 200 мг/м³. Повторные работы при условии повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут проводиться с перерывом не менее чем в 2 ч.

При соответствии фактической пылевой нагрузки контрольному уровню условия труда относят к допустимому классу вредности условий труда и подтверждают безопасность продолжения работы в тех же условиях.

При превышении КПН рассчитывают стаж работы T_1 , при котором ПН не будет превышать КПН. При этом КПН рекомендуется определять за средний рабочий стаж, равный 25 годам. В тех случаях, когда продолжительность работы составляет более 25 лет, расчет производят исходя из реального стажа работы:

$$T_1 = \text{КПН}_{25} / (K \cdot N \cdot Q), \text{ лет.}$$

Кратность превышения КПН указывает на класс вредности условий труда по данному химическому фактору.

2. Методы измерения концентрации пыли в воздухе

Методы измерения концентрации пыли делят на две группы: методы с предварительным осаждением и методы без предварительного осаждения пыли.

Основным преимуществом методов первой группы является возможность непосредственного измерения массовой концентрации пыли. К недостаткам относятся длительность отбора пробы, низкая чувствительность, трудоемкость анализа.

Преимущества методов второй группы – возможность непосредственных измерений в самой пылевоздушной среде, непрерывность измерений, высокая чувствительность. Существенный недостаток – влияние изменений свойств пыли (особенно дисперсного состава) на получаемые результаты.

Счетный метод позволяет измерять количество частиц пыли в 1 см^3 воздуха. Подсчитывают осажденные на предметном стекле из определенного объема воздуха ($10\text{--}100 \text{ см}^3$) частицы пыли с помощью специальных приборов-счетчиков (ТВК-3, СН-2 и др.) с последующим подсчетом числа осажденных частиц и определением их размеров под микроскопом. По тарировочным графикам определяют концентрацию данной пыли в воздухе.

Весовой метод измерения концентрации пыли заключается в выделении из пылегазового потока частиц пыли и определении их массы путем взвешивания. При этом оптимальная скорость отбора составляет 15 л/мин (приборы типа ППА, АЭР-4).

Фотометрический метод основан на предварительном осаждении частиц пыли на фильтре и определении оптической плотности пылевого осадка (приборы типа ФЭКП-3, ДПВ-1).

Люминесцентный метод заключается в предварительном осаждении пыли на фильтре, обработанном флюоресцирующими растворами, и последующем измерении интенсивности флюоресценции. При этом измеряют интенсивность флюоресценции до и после осаждения пылевого осадка.

На предварительном осаждении пыли основаны и такие методы, как радиоизотопный (приборы типа ПРИЗ, ИЗВ-1, ИЗВ-3 и др.) и пьезоэлектрический.

Оптические, электрические и акустические – методы измерения концентраций пыли без предварительного осаждения ее на фильтре. Они основаны на использовании различных физических явлений, протекание которых изменяется с изменением концентрации частиц в

анализируемой воздушной среде. В оптических приборах используется эффект рассеяния частицами пыли света либо ослабления светового пучка. При измерениях электрическими приборами концентрация пыли оценивается величиной снимаемого с частиц электростатического заряда. При аэродинамических методах запыленность определяется по изменению гидравлического сопротивления фильтра.

В Российской Федерации в качестве стандартного метода определения концентрации пыли в воздухе принят весовой метод. Для определения концентрации пыли в воздухе весовым методом определенный объем воздуха пропускают через фильтр и производят взвешивание этого фильтра до и после взятия пробы.

Для улавливания пыли из воздуха используют аэрозольные фильтры Петрянова в виде дисков из перхлорвинила: АФА-В-10 или АФА-В-18 (аналитический фильтр аэрозольный влагостойкий, площадью 10 и 18 см²). Широкое использование этих фильтров обусловлено тем, что они устойчивы по отношению к кислотам и щелочам, гидрофобны, имеют высокую пропускную способность и незначительную собственную массу.

Привес фильтра, поделенный на объем протянутого через него воздуха, дает фактическую концентрацию пыли в воздухе

$$K = (m_2 - m_1)/V_0, \text{ мг/м}^3,$$

где m_1 , m_2 – масса фильтра до и после отбора пробы, соответственно, мг; V_0 – объем отфильтрованного воздуха, приведенных к нормальным условиям:

$$V_0 = V_1 \cdot 273 \cdot B / [(273 + t) \cdot 760], \text{ м}^3,$$

где B – барометрическое давление воздуха во время отбора пробы, мм рт. ст. (измеряют по барометру); t – температура воздуха при отборе пробы, °С; V_1 – объем воздуха, протянутого через фильтр при заданных значениях B и t :

$$V_1 = q \cdot \tau / 1000, \text{ м}^3,$$

где q – показания ротаметра во время отбора пробы (интенсивность протягивания воздуха через фильтр), л/мин; τ – время отбора пробы (принимают $\tau = 15$ мин).

3. Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная установка для создания искусственной запыленности и отбора пылевых проб (рис. 1.1) включает весы аналитические АДБ-200 или торсионные ВТ-500; барометр-анероид и термометр; секундомер; фильтры Петрянова АФА-В-10 (АФА-В-18). Пробоотборный патрон 2 с фильтром, ротаметр-воздухомер 8 и побудитель движения воздуха соединены гибким резиновым шлангом.

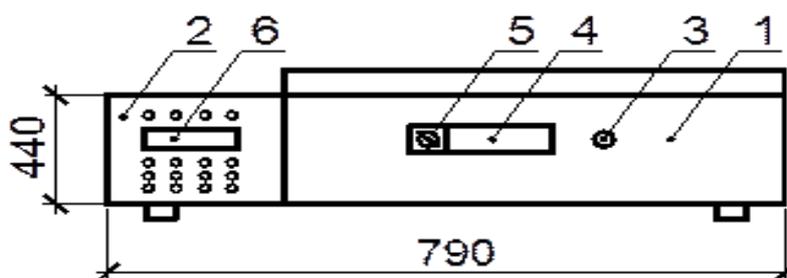


Рис. 1.1. Схема лабораторной установки для создания искусственной запыленности и отбора проб воздуха:

1 – пылевая камера с дверкой; 2 – приборный отсек; 3 – отверстие для взятия пробы; 4 – прозрачное окно; 5 – ручка дозатора; 6 – аспиратор; 7 – регулятор расхода воздуха; 8 – ротаметры-воздухомеры; 9 – тумблер включения вентилятора; 10 – тумблер включения воздуходувки; 11 – тумблер включения освещения

В приборном отсеке находятся аспиратор для взятия пробы воздуха, электроаппаратура, двигатель и вентилятор.

Порядок выполнения лабораторной работы:

- ознакомьтесь с методическими указаниями по выполнению данной лабораторной работы и изучите соответствующие разделы рекомендуемой литературы;

- определите вариант исходных данных;

- путем суммирования последних двух цифр номера зачетной книжки определите вариант исходных данных;

- получите у преподавателя или лаборанта фильтр и взвесьте его на аналитических весах с точностью до 0,1 мг. Перед взвешиванием фильтр вынимают из обоймы и складывают вчетверо по диаметру. После взвешивания осторожно разверните его. Запишите полученный результат в таблицу отчета;

- включите побудитель движения воздуха в электрическую сеть и зафиксируйте время начала отбора пробы. Регулятором расхода воздуха 7 ротаметра 8 установите заданную скорость просасывания воздуха через фильтр и зафиксируйте ее в таблице отчета;

- по истечении заданного времени просасывания выключите побудитель движения воздуха 10;
- для восстановления первоначальной влажности фильтр выдерживают в камере 10–15 мин;
- извлеките фильтр из обоймы и взвесьте его;
- измерьте температуру воздуха и барометрическое давление, зафиксируйте их в таблице отчета;
- проведите расчет концентрации пыли К;
- используя формулу и значение ПДК, произведите оценку полученной концентрации пыли на ее соответствие требованиям санитарных норм для производственных помещений;
- используя заданное время контакта с пылевым фактором, категорию работ по тяжести и полученное значение концентрации пыли К, рассчитайте значение ПН. При этом число рабочих смен в календарном году примите равным 250;
- рассчитайте значение КПН и, сопоставив его со значением ПН, определите класс условий труда;
- определите КПН за средний рабочий стаж, который примите равным 25 годам;
- при превышении КПН рассчитайте допустимый стаж работы в данных условиях T_1 , при котором ПН не будет превышать КПН.

Контрольные вопросы и задания

1. На чем основана классификация вредных веществ по опасности воздействия на организм человека?
2. Что такое ПДК?
3. Расскажите о методах определения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны.
4. От каких факторов зависит пылевая нагрузка на органы дыхания человека?
5. Машинист аспирационных установок проработал 7 лет в условиях воздействия зерновой пыли. Среднесуточная концентрация за этот период составляла $0,3 \text{ мг/м}^3$. Категория работ по энерготратам – Пб (объем легочной вентиляции равен 7 м^3). Среднесменная ПДК данной пыли – $0,15 \text{ мг/м}^3$. Среднее количество рабочих смен в году – 248. Определите допустимый стаж работы в таких условиях и доплату к заработной плате за условия труда.

Лабораторная работа № 2

«Экспресс-анализ загазованности воздушной среды с помощью индикаторных трубок»

1. Краткие теоретические сведения

Воздух представляет собой физическую смесь различных газов, образующих атмосферу Земли. Чистый воздух – смесь газов в относительно постоянном объемном соотношении: азот – 78,09%, кислород – 20,95%, аргон – 0,93% и диоксид углерода – 0,03%. Кроме того, воздух содержит незначительное количество других газов, таких как водород, озон, оксиды азота.

Содержание паров воды в воздухе может достигать четырех объемных долей в процентах в зависимости от конкретных условий окружающей среды и характера деятельности человека.

Токсичность – свойство веществ вызывать отравления (интоксикацию) организма; определяется большим числом факторов, из которых основными являются:

- агрегатное состояние (наиболее опасны вредные вещества, находящиеся в паро-, газо-, дымо- и туманообразном состоянии, так как при этом велика вероятность попадания их в органы дыхания, в легкие, откуда они быстро переносятся в кровь);

- дисперсность (*от лат. dispersus – рассеянный, рассыпанный*) – оценка степени измельченности вещества; чем мельче частицы, тем выше дисперсность, возможность и глубина проникновения в дыхательные пути и легкие человека. Дисперсность рассчитывают как отношение общей поверхности всех частиц к их суммарному объему или массе;

- растворимость;

- летучесть – максимальное содержание пара вредного вещества в единице объема воздуха, выражают в мг/л. В качестве примера приведем значение этого показателя для ряда веществ: хлорбензол – 53,6 мг/л, изопропиловый спирт – 12 мг/л, четыреххлористый углерод – 1380 мг/л. Вещества, обладающие высокой летучестью, способны образовать в воздухе большие концентрации. Вещества, летучесть которых превышает 200 мг/л, увеличивают плотность воздуха более чем на 25%, а скорость опускания паровоздушной смеси может превысить 0,2 м/с. Поэтому летучие вещества способны накапливаться в нижних этажах помещений, приземных слоях атмосферы. Вещества, характеризующиеся низкой летучестью, существенно не влияют на

плотность газовой смеси, и поэтому их распределение происходит более равномерно по всему объему помещения;

К техническим средствам отбора проб, обнаружения и определения вредных веществ относятся индикаторные трубки (ИТ), представляющие собой стеклянные трубки (рис. 2.1), заполненные зернистым наполнителем – индикаторным порошком. Характеристики индикаторных порошков приведены в таблице 2.1.



Рис. 2.1. Индикаторные трубки

Принцип действия ИТ основан на фильтрации через индикаторный порошок загрязненного воздуха при просасывании его с помощью насоса пробоотборника. При этом происходит поглощение из воздуха вредного (загрязняющего) вещества, сопровождающееся избирательной химической реакцией этого вещества с нанесенным на индикаторный порошок аналитическим реагентом (индикатором). В результате химической реакции происходят образование окрашенных продуктов и изменение окраски порошка. На поверхности индикаторных трубок в области реактивного слоя нанесены деления с соответствующими значениями концентрации определяемого вредного (загрязняющего) вещества. Длина изменившего окраску слоя является мерой концентрации определяемого вредного (загрязняющего) вещества в анализируемом воздухе.

С индикаторной трубкой используется насос-пробоотборник (рис. 2.2), представляющий собой ручной механический переносной аспиратор с прямым измерением объема газовой пробы 50 см^3 и 100 см^3 (значение объема выгравировано на штоке).

Основу насоса-пробоотборника составляет цилиндр 3, в котором размещается шток 5 с поршнем. Роль обратного клапана на поршне выполняет сквозное отверстие, закрытое манжетой, надетой на

шток. На один из концов цилиндра наворачивается крышка 4 с фиксатором, удерживающая шток в требуемом положении. К другому концу цилиндра с помощью переходной втулки 2 крепится насадка 1. В переходной втулке помещен защитный патрон с сорбентом. На насадке сбоку находится отверстие для обламывания концов стеклянных трубок. Работа насоса-пробоотборника основана на создании разрежения в цилиндре при перемещении штока и заполнении цилиндра газовой воздушной смесью (ГВС).

Таблица 2.1

**Характеристики индикаторных порошков
для снаряжения индикаторных трубок**

Определяемое вредное (загрязняющее) вещество	Просасываемый объем воздуха, см ³	Общее время просасывания воздуха, с	Газ (пар), улавливаемый фильтрующим патроном
1	2	3	4
Азота оксиды	300	420	–
Аммиак	200	120	–
	100	40	–
Ангидрид сернистый	300	300	Сероводород, аммиак, азота диоксид, туман серной кислоты, пары воды
	100	60	
Ацетилен	300	420	Сероводород, фосфористый водород, кремнистый водород, аммиак, пары ацетона и воды
	100	180	–
Ацетон	300	420	Ангидрид сернистый, пары уксусной кислоты, уксусного ангидрида, соляной кислоты, в концентрациях до 10 ПДК
Бензин	300	420	Углеводороды ароматические и непредельные, пары воды
Бензол	400	360	Пары воды
Ксилол	300	240	Пары воды

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4
Сероводород	300	300	–
Толуол	300	420	Пары воды
Углеводороды нефти	300	420	Пары воды, углеводороды непредельные и ароматические
Углерода оксид	200	420	Ацетилен, этилен, метан, смесь бутана и пропана, азота оксиды, хлор, ангидрид сернистый, водород, пары бензина, бензола и его гомологов, воды, ацетона, кислоты муравьиной, формальдегида, спиртов этилового и метилового, дихлорэтана, сероуглерода
Хлор	300	300	–
Этиловый эфир	400	600	Пары воды, этилового спирта, органических кислот, фенола



Рис. 2.2. Внешний вид насоса-пробоотборника:

1 – насадка; 2 – переходная втулка; 3 – цилиндр; 4 – крышка; 5 – шток

Насос-пробоотборник приводят в рабочее состояние вытягиванием штока из исходного положения. При этом шток фиксируется на позициях «50» и «100», что соответствует просасыванию 50 см^3 и 100 см^3 ГВС. При создании разрежения в цилиндре срабатывает сигнальное устройство – контрольная мембрана прогибается и в смотровом окошке пропадает изображение черной точки (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Работа сигнального устройства насоса-пробоотборника

При уравнивании давления внутри цилиндра с атмосферным давлением в смотровом окошке появляется изображение черной точки, что позволяет фиксировать окончательное просасывание ГВС через средство контроля. Перед введением штока в цилиндр его поворачивают вокруг оси на 90° . При этом воздух из цилиндра выходит через обратный капан. Агрессивные вещества, которые могут поступать в насос-пробоотборник из воздуха, адсорбируются наполнителем защитного патрона.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы недопустимо:

- попадание индикаторного порошка на слизистые оболочки, кожу, одежду;
- принятие пищи;
- использование открытого огня.

При скрывтии индикаторных трубок запаянные концы следует отламывать осторожно, чтобы избежать порезов и попадания осколков стекла в глаза. При подсоединении и отсоединении индикаторной трубки к насосу-пробоотборнику ее следует держать как можно ближе к концу, вставленному в гнездо аспиратора, избегая при этом сильного нажима на индикаторную трубку и сдавливания ее руками.

Порядок выполнения измерений:

- вскройте с обоих концов индикаторную трубку (рис. 2.4), осторожно надломив их при помощи отверстия в насадке насоса-пробоотборника;

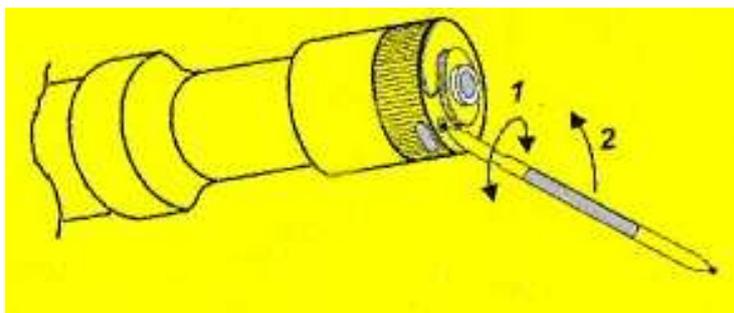


Рис. 2.4. Вскрытие индикаторной трубки при помощи отверстия в насадке насоса-пробоотборника

- подсоедините насос-пробоотборник с индикаторной трубкой к специальному штуцеру для отбора пробы воздуха (рис. 2.5).

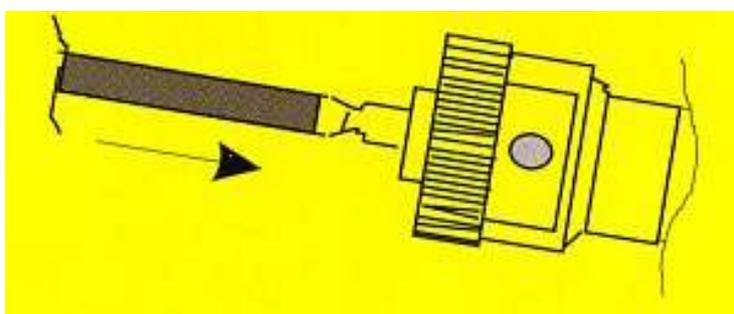


Рис. 2.5. Установка индикаторной трубки в аспиратор

Прокачайте через индикаторную трубку выгравированный объем анализируемого воздуха, для этого выполните следующие операции:

- поверните шток по си вращения так чтобы метка 1 на направляющей втулке корпуса насоса-пробоотборника не совпала с меткой 2 на штоке на четверть оборота, т.е. на 90° ;
- введите шток целиком в корпус насоса-пробоотборника;
- поверните шток по оси вращения так чтобы метка 1 (на направляющей втулке) совпала с меткой 2 (на штоке);
- оттяните шток на себя с усилием до щелчка фиксатора (до метки 50 или 100 на штоке). При этом фиксатор войдет в зацепление с пазом на штоке, маркированным меткой 50 или 100 и начнется просасывание воздуха до тех пор пока давление в рабочем пространстве насоса-пробоотборника не сравняется с атмосферным давлением;
- выдержите поршень в зафиксированном положении в течение 1 мин или иного времени, необходимого для завершения цикла просасывания воздуха (табл. 2.1). О завершении цикла просасывания

воздуха свидетельствует появление четкого изображения точки в смотровом окошке;

- извлеките индикаторную трубку из резиновой втулки насоса-пробоотборника;

- по длине изменившего окраску слоя определите концентрацию вредного (загрязняющего) вещества $C_{ИТ}$ в воздухе (рис. 2.6). При размытости границы окраски отсчет $C_{ИТ}$ проводите по нижней и верхней частям границы окраски. За результат измерения примите среднее значение;

- рассчитайте концентрацию вредного (загрязняющего) вещества C_H в воздухе, приведенную к нормальным условиям, т.е. к температуре 20 С и атмосферному давлению 760 мм рт. ст. по формуле

$$C_H = C_{ИТ} [(273 + t) 760 / (293 \cdot P)] = C_{ИТ} \cdot K, \text{ мг/м}^3,$$

где t , P – температура воздуха, °С и атмосферное давление, кПа в момент экспресс-анализа; 293 и 101,3 – температура, К и атмосферное давление, соответствующие нормальным условиям; K – коэффициент, учитывающий поправку на фактические значения температуры воздуха и атмосферного давления в момент экспресс-анализа (табл. 2.2).

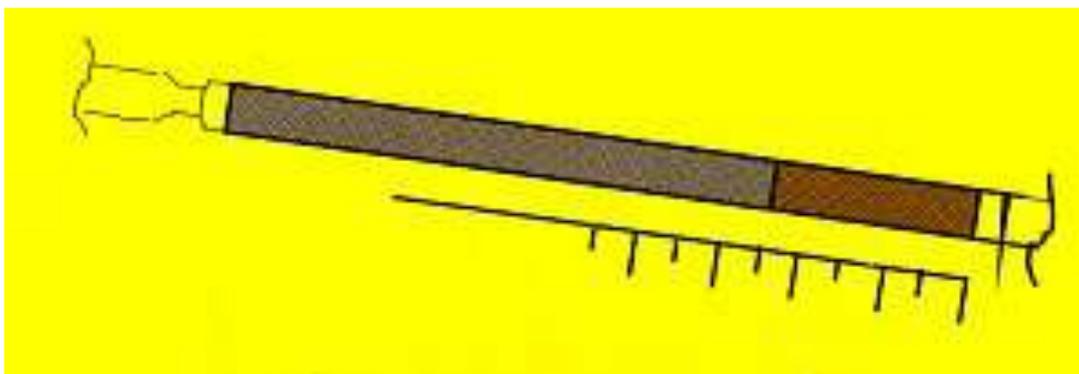


Рис. 2.6. Измерение концентрации вредного вещества в воздухе по контрольной шкале

По таблице 2.3 определите качество воздуха в помещении лаборатории по допустимому значению содержания диоксида углерода CO_2 .

Таблица 2.2

**Значения коэффициента К, учитывающего поправку
на фактические значения температуры воздуха
и атмосферного давления**

Атмосферное давление Р, мм рт. ст.	Температура t, °С						
	0	10	15	20	30	40	50
630	1,12	1,17	1,19	1,21	1,24	1,28	1,33
650	1,09	1,13	1,15	1,17	1,21	1,25	1,29
680	1,04	1,08	1,10	1,12	1,16	1,19	1,23
700	1,01	1,05	1,07	1,09	1,12	1,16	1,20
720	0,98	1,02	1,04	1,06	1,09	1,13	1,16
740	0,96	0,99	1,01	1,03	1,06	1,10	1,13
760	0,93	0,97	0,98	1,00	1,03	1,07	1,10
780	0,91	0,94	0,96	0,97	1,01	1,04	1,07
800	0,89	0,92	0,93	0,95	0,98	1,01	1,05

Таблица 2.3

Классификация качества воздуха в помещении лаборатории

Класс	Качество воздуха в помещении		Допустимое содержание CO ₂ , см ³ /м ³
	оптимальное	допустимое	
1-й	Высокое	–	400 и менее
2-й	Среднее	–	400–600
3-й	–	Допустимое	600–1000
4-й	–	Низкое	1000 и более

Контрольные вопросы и задания

1. На чем основана классификация вредных (загрязняющих) веществ по опасности воздействия на организм человека?
2. Что такое ПДК?
3. Расскажите о методах определения концентрации газов (паров) в воздухе рабочей зоны.
4. В воздухе рабочей зоны помещения обнаружены сернистый ангидрид SO₂ концентрацией 6 мг/м³ и азота диоксид NO₂ – 4 мг/м³. Оцените санитарное состояние воздуха рабочей зоны.

Лабораторная работа № 3 «Исследование искусственного освещения»

1. Краткие теоретические сведения

Факторами, определяющими условия работы и способствующими повышению производительности труда и культуры производства, являются благоприятный световой климат и рациональное освещение рабочих мест.

По назначению общее искусственное освещение классифицируют (рис. 3.1):

- на рабочее – предусматривается для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта; должно быть независимым от наличия аварийного освещения;

- дежурное – освещение в нерабочее время;

- охранное – освещение, предусматриваемое вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время;

- аварийное (в случае выхода из строя питания рабочего освещения). Подразделяется на эвакуационное и резервное.

Эвакуационное освещение подразделяют:

- на освещение путей эвакуации;

- освещение зон повышенной опасности;

- освещение больших площадей (антипаническое освещение).

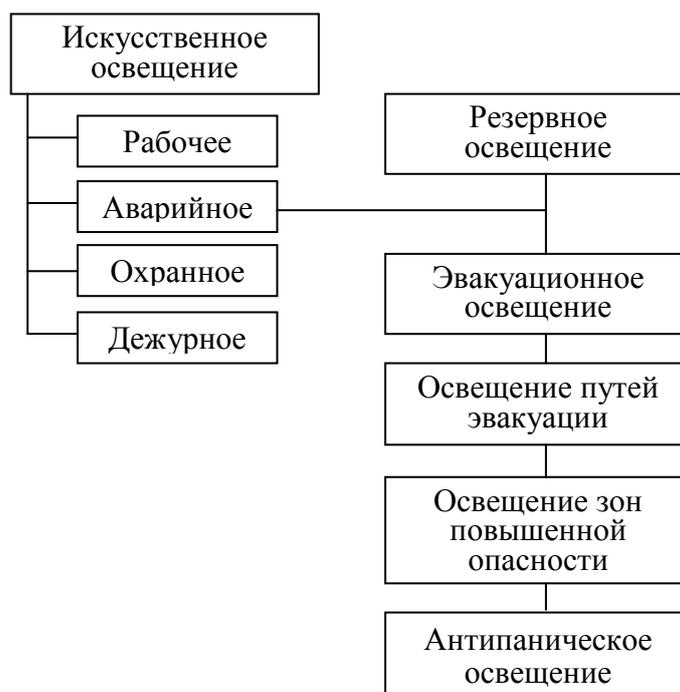


Рис. 3.1. Классификация искусственного освещения по назначению

Резервное освещение – вид аварийного освещения для продолжения работы в случае отключения рабочего освещения.

За последнее время в результате изменения характера производственных процессов, миниатюризации приборов и повышения требований к качеству выпускаемой продукции существенно увеличился объем работ, связанных со значительным напряжением органа зрения, в связи с этим резко повысилось гигиеническое и экономическое значение условий освещения производственных помещений.

Свет оказывает непосредственное влияние на зрительные условия работы, работоспособность и самочувствие человека. Работа при недостаточном освещении снижает производительность труда, приводит к ослаблению зрения и является в ряде случаев причиной производственного травматизма, аварий и брака.

Рассмотрим основные светотехнические понятия, величины и единицы их измерения:

1) любое тело с температурой выше абсолютного нуля излучает в пространство лучистую энергию. Распространение ее осуществляется в виде электромагнитных колебаний (рис. 3.2, а) с широким диапазоном длин волн.

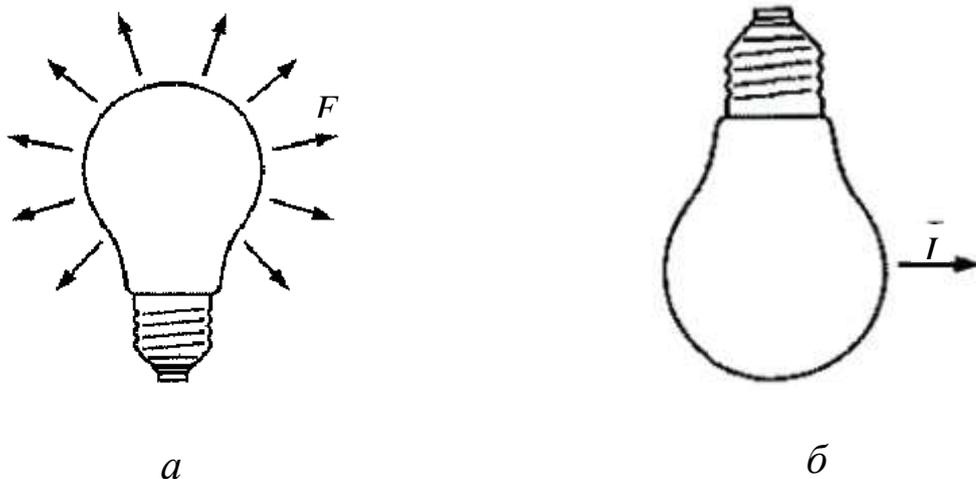


Рис. 3.2. Световой поток F (а) и сила света I (б)

Человеческий глаз воспринимает лишь небольшую область этого диапазона с длинами волн от 380 до 760 нм, называемую **оптической областью спектра**. Мощность лучистой энергии, оцениваемую по световому ощущению, производимому на глаз человека, принято называть **световым потоком**. Единицей светового потока F является люмен (лм);

2) источники света излучают световой поток неравномерно с различной интенсивностью в разных направлениях пространства. Для характеристики распределения светового потока источника введено понятие *силы света I*, которая определяет плотность светового потока в данном направлении (рис. 3.2, б).

Единицей силы света является кандела (кд). Кандела – основная светотехническая единица, ее назначение устанавливается по специальному эталону. Понятие силы света применимо не только к источнику света, но и к светильнику. Характеристикой распределения силы света светильника в пространстве является *кривая силы света*;

3) световой поток, падающий на какую-либо поверхность, освещает ее. Об интенсивности освещения поверхности судят по плотности распределения по ней светового потока, т.е. *освещенности* (рис. 3.3).

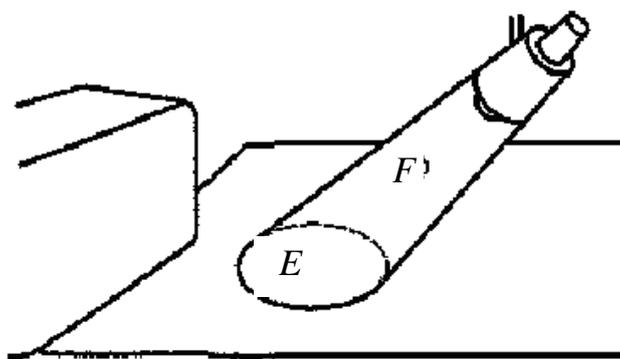


Рис. 3.3. Освещенность

Освещенность E определяется отношением величины светового потока, падающего на поверхность, к площади данной поверхности:

$$E = \Phi/S,$$

где E – освещенность; Φ – световой поток; S – площадь поверхности.

Единицей освещенности является люкс (лк). Освещенность поверхности равна одному люксу, если на каждый квадратный метр ее площади падает световой поток в один люмен.

Освещенность горизонтальная в точке P (рис. 3.4), расположенной на расстоянии d от источника с силой света I в данном направлении и с углом падения θ на расчетную плоскость, рассчитывают по закону квадратов расстояний:

$$E = I \cdot (\cos\theta)/d^2.$$

Яркость B – основная величина, на которую непосредственно реагирует глаз человека. Яркостью называют пространственную плотность светового потока, отнесенную к единице площади проекции светящей поверхности на плоскость, перпендикулярную заданному направлению. Яркость зависит от свойств той или иной поверхности и ее отражательной способности.

Единицей яркости является кандела на квадратный метр ($\text{кд}/\text{м}^2$). Равномерно светящаяся поверхность, излучающая в перпендикулярном к ней направлении свет силой в 1 канделу с 1 м^2 , обладает яркостью в $1 \text{ кд}/\text{м}^2$.

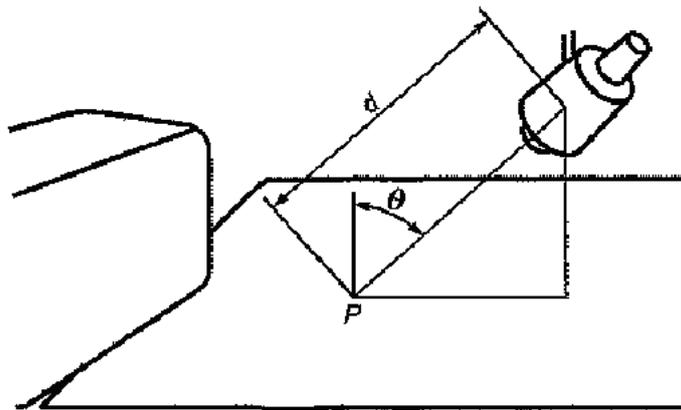


Рис. 3.4. Определение освещенности в точке P

Световой поток $F_{\text{пад}}$, падающий на какое-либо тело, частично отражается этим телом $F_{\text{отр}}$, частично поглощается $F_{\text{пог}}$ им, какая-то часть светового потока пропускается $F_{\text{пр}}$ сквозь тело. В связи с этим световые свойства тел характеризуются соответственными коэффициентами отражения $K_{\text{отр}}$, пропускания $K_{\text{пр}}$ и поглощения $K_{\text{пог}}$:

$$K_{\text{отр}} = F_{\text{отр}}/F_{\text{пад}}; K_{\text{пог}} = F_{\text{пог}}/F_{\text{пад}}; K_{\text{пр}} = F_{\text{пр}}/F_{\text{пад}}.$$

Для того чтобы правильно выбрать материал при отделке помещений, окраске рабочих поверхностей и оборудования, а также при размещении светильников, необходимо располагать величинами коэффициентов. Значения коэффициентов отражения некоторых материалов приведены в таблице 3.1.

В пределах рабочей зоны рекомендуется обеспечить соотношение яркости порядка 3:1, а между рабочей поверхностью и более удаленными поверхностями – 10:1. В связи с этим коэффициенты отражения должны быть для потолка и верхней части стен 60–80%, для

стен, являющихся фоном, – 30–40%, для пола – 12–15%, для оборудования – 40–60%.

Для освещения помещений могут использоваться системы общего или комбинированного освещения.

При системе общего освещения различают два способа размещения светильников: равномерное и локализованное. При равномерном размещении светильники с люминесцентными лампами располагают параллельно светонесущей стене на расстоянии 1,2 м от наружной стены и 1,5 м – от внутренней, а расстояние между ними устанавливают одинаковое для того чтобы обеспечить равномерное освещение всего помещения без учета расположения оборудования.

При локализованном размещении светильники устанавливаются в зависимости от расположения оборудования и рабочих мест. Это позволяет обеспечить лучшее качество освещения рабочей поверхности, создать необходимое направление светового потока, избежать резких теней и т.п.

Таблица 3.1

Значения коэффициентов отражения $K_{отр}$ некоторых материалов

Наименование материала	$K_{отр}$, %	Наименование материала	$K_{отр}$, %
Алюминий полированный матовый	70–65, 65–55	Штукатурка в помещении, запущенная с пылью	20–15
Сталь полированная, необработанная	70–60, 10–5	Штукатурка, хорошо сохранившаяся	30–20
Жесть белая	70–60	Штукатурка без побелки новая	42
Латунь полированная	70–60	Ткань белая, батист	65–70
Стекло матированное	10	Ткань белая, шелк	70–80
Стекло опаловое толщиной 2–3 мм	30	Плитка белая керамическая глазурованная	75
Стекло молочное толщиной 2–3 мм	45	Силикатный кирпич, бетон (новые)	32
Белая клеевая краска	80–70	Бумага матовая белая	82–76
Свинцовые белила	До 90	Бумага ватманская	65–55
Красный кирпич	10–8	Бумага писчая	20–60
Сосна светлая	38	Дуб светлый	33
Фанера	50	Дерево (орех)	18
Известка (побелка), новая	80	Известка запущенная (с пылью)	20–15

Преимущества системы общего освещения наиболее существенны при освещении производственных помещений, в которых должны создаваться условия для выполнения работы в любой точке или располагаться оборудование с большой площадью рабочей поверхности.

Систему общего освещения рекомендуется применять при высокой плотности расположения оборудования, если оно не создает теней на рабочих поверхностях и не требует переменного направления света (сборочные цехи); в помещениях, где рабочей поверхностью может служить каждая точка пола (литейные цехи, сборочные) или где основное оборудование имеет протяженную рабочую поверхность (прядаильные, крутильные цехи ткацких фабрик и т.п.); где не требуется значительного напряжения зрения (общее наблюдение за ходом производственного процесса, вспомогательные, в том числе санитарно-бытовые, административно-конторские и складские помещения), в помещениях общественного назначения (залы заседания, комнаты отдыха и т.п.), а также в помещениях, когда устройство местного освещения невозможно по техническим и конструктивным соображениям.

Локализованное размещение светильников при системе общего освещения следует применять в том случае, если рабочие места расположены группами (группы станков, рабочие места у конвейеров); когда на разных участках выполняются работы различной сложности, требующие разных уровней освещенности. Локализованное размещение светильников может применяться при освещении рабочих мест на открытых пространствах, где требуется повышенная освещенность по сравнению с общим уровнем освещения всей территории.

Система **комбинированного освещения** включает помимо общего освещения местные светильники, расположенные на рабочих местах. Преимущества комбинированного освещения перед общим определяются следующими показателями: повышение видимости благодаря возможности создания резких собственных теней от рельефных объектов, которые различаются за счет выбора соответствующего направления световых лучей; возможность обеспечения одинаковых условий освещения на однотипных рабочих поверхностях, создания высоких уровней освещенности на вертикальных и наклонных поверхностях, освещения внутренних полостей обрабатываемых изделий, изменения цветности излучения на ограниченном участке рабочих поверхностей, а также меньшими эксплуатационными расходами при больших уровнях освещенности.

Систему комбинированного освещения применяют при выполнении точных зрительных работ, на рабочих поверхностях, где общее освещение создает тени (штампы, станки механической обработки и т.п.); при оборудовании, имеющем вертикальные, наклонные рабочие поверхности; если производственный процесс требует высокой освещенности (электро- и радиомонтажные работы); на рабочих местах, занимающих небольшую часть цеха (измерительные приборы и т.п.), а также на рабочих поверхностях, требующих переменного направления падающего света.

В случаях, когда архитектурно-планировочные решения производственных зданий не позволяют обеспечить в них норму естественного освещения (нормированное значение КЕО), в светлое время суток применяют дополнительное искусственное освещение. Такое освещение называется *совмещенным*.

Искусственное освещение создается электрическими источниками света и осветительными приборами.

Электрическим источником света называют устройство, преобразующее электрическую энергию в энергию видимых излучений. По принципу действия различают лампы накаливания, газоразрядные лампы и светодиоды.

Лампа накаливания (рис. 3.5, а) представляет собой стеклянную колбу 1, внутри которой в вакууме или инертном газе находится нить из тугоплавкого проводника 2.

В лампах преобразование электрической энергии в световую происходит за счет накаливания тугоплавкого проводника электрическим током. Нить накала может сворачиваться в спираль (моноспираль), биспираль (нити имеют форму двойных спиралей) и триспираль (нити имеют форму тройных спиралей). У биспиральных и триспиральных ламп накаливания световая отдача выше, чем у моноспиральных ламп.

Лампы накаливания могут быть вакуумными – тип В, газонаполненными (с аргоновым или криптоновым наполнителем) – типы Г, Б, БК; их изготавливают как в прозрачных, так и матированных (МТ), опаловых (О), молочных (МЛ) колбах.

Условные обозначения ламп накаливания общего назначения включают слово «лампа»; тип наполнения и тела накала; вид колбы лампы; диапазон напряжения; номинальная мощность; номер ГОСТа. Например, обозначение «Лампа В 125-135-25 ГОСТ 2239-79» расшифровывается так: лампа вакуумная в прозрачной колбе на напряжение 125-135 В, мощность 25 Вт по ГОСТ 2239-79.

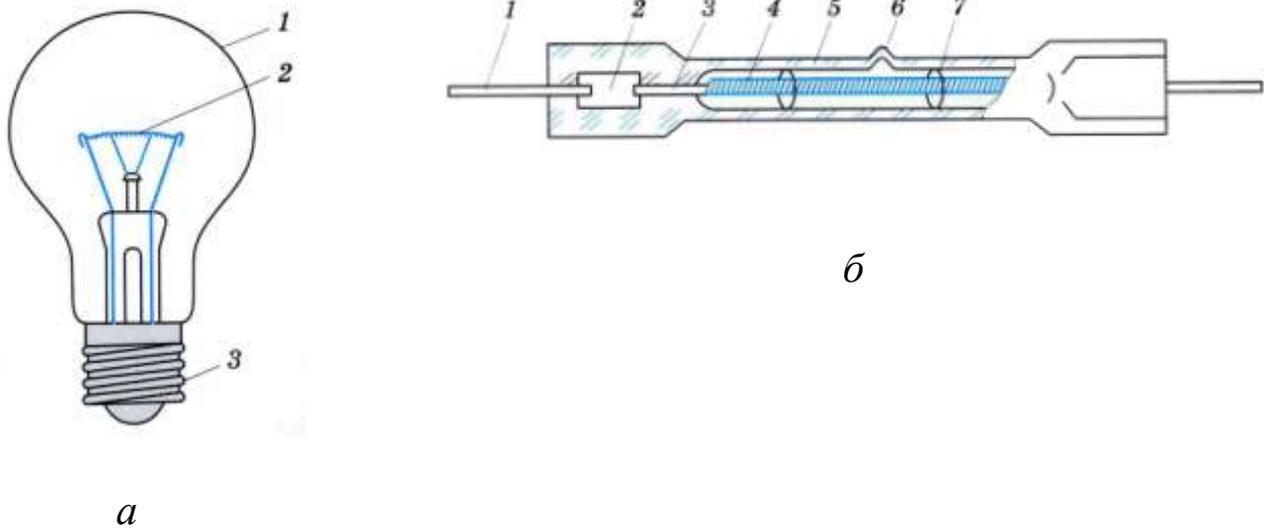


Рис. 3.5. Лампа накаливания:

а – вакуумная; 1 – стеклянная колба; 2 – спираль накала; 3 – резьбовой цоколь;
б – галогенная; 1 – выводы; 2 – молибденовая фольга; 3 – вольфрамовые вводы;
 4 – спираль накала; 5 – кварцевая колба; 6 – корпус; 7 – держатель

Характеризуются лампы накаливания номинальными значениями напряжения, мощности и светового потока. Световой поток со временем уменьшается, что отражается и на сроке службы, который для ламп накаливания не превышает 1000 ч.

Промышленность выпускает металлогалогенные лампы (МГЛ) накаливания, срок службы которых составляет 2000 ч и более. В состав газового наполнения такой лампы добавляется йод, который при определенных условиях обеспечивает обратный перенос испарившихся частиц вольфрама со стенок колбы лампы на тело накала (рис. 3.5, б). Именно это и позволяет повысить в два раза срок службы ламп накаливания.

Лампы накаливания для местного освещения (МО) изготавливают на напряжение 1,25; 2,3; 2,5; 12; 24; 36 В.

Отличительной особенностью ламп накаливания является то, что они включаются в сеть без дополнительных пусковых приспособлений, могут работать при значительных отклонениях напряжения сети от номинального, а также практически не зависят от условий окружающей среды и температуры, компактны, световой поток их к концу срока службы снижается незначительно (приблизительно на 15%). Однако лампы накаливания имеют относительно низкую световую отдачу (7–20 лм/Вт) и в их спектре преобладает желто-красная часть. На

их выбор может оказывать влияние размер лампы: полная длина (стеклянная колба вместе с цоколем), диаметр и высота светового центра (от резьбового цоколя до середины нити накаливания).

Применение ламп накаливания общего назначения для освещения ограничивается Федеральным законом № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г.: с 1 января 2011 г. не допускается применение для освещения ламп накаливания мощностью 100 Вт и более.

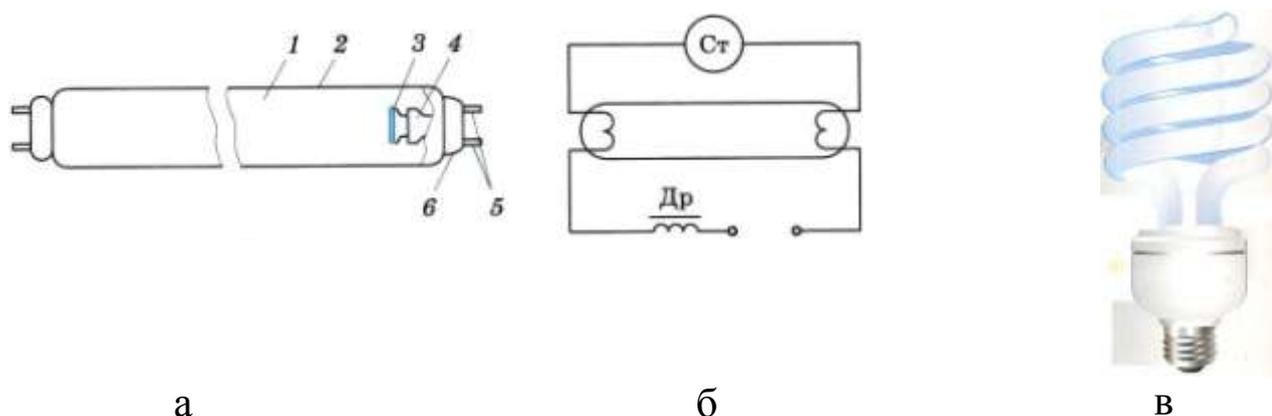


Рис. 3.6. Люминесцентная лампа:

а – линейная (конструкция); б – схема; 1 – трубка; 2 – люминофор; 3 – спираль; 4 – ножка; 5 – штыри; 6 – резьбовой цоколь; в – компактная

Люминесцентные лампы линейные (рис. 3.6, а), или **разрядные лампы низкого давления**, представляют собой цилиндрическую стеклянную трубку (длиной от 450 до 1500 мм) с двумя цоколями на концах, заполненную разряженным газом – аргоном и небольшим количеством паров ртути. На внутреннюю поверхность стеклянной трубки нанесен слой специального состава (люминофора). В цоколи лампы впаяны вольфрамовые электроды. При включении лампы в электрическую сеть между ее электродами в парах ртути (рис. 3.6, б) возникает газовый разряд и невидимое ультрафиолетовое излучение, под воздействием которого люминофор начинает светиться – дает яркий видимый свет.

Люминесцентные лампы выпускают мощностью 15, 20, 30, 40, 80 Вт и пяти типов по цветности (окраске) излучаемого света:

- белого света ЛБ (воспроизводят по цветности солнечный цвет и применяются в помещениях, где требуется зрительное напряжение);
- тепло-белого ЛТБ (имеют ярко выраженный розовый оттенок и используются тогда, когда есть необходимость подчеркнуть розовые и красные тона);

- дневного света с исправленной цветностью ЛДЦ;
- холодного белого – ЛХБ и дневного света ЛД.

Люминесцентную лампу, закрученную в виде спирали (рис. 3.6, в), называют **компактной**.

К недостаткам люминесцентных ламп можно отнести относительную громоздкость, необходимость в специальной пуско-регулирующей аппаратуре ПРА (стартере и дросселе), чувствительность к температуре окружающего воздуха (при температуре ниже 10°C лампа может не зажечься). Кроме того, люминесцентные лампы, расположенные рядом, необходимо присоединять к разным фазам, так как они 100 раз в секунду зажигаются и гаснут, поскольку переменный ток промышленной частотой $f = 50$ Гц 100 раз в секунду проходит через ноль. Хотя человек не замечает этих пульсаций света, но они вредно действуют на органы зрения.

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) часто называют энергоэкономичными потому, что их можно вкрутить в обычный резьбовой цоколь E27 (27 – диаметр резьбового цоколя, мм), и они будут работать, потребляя электроэнергии в шесть раз меньше, чем лампы накаливания. Эти лампы имеют значительно меньшую зависимость от температуры окружающего воздуха.

Дуговые ртутные люминесцентные лампы (ДРЛ) изначально применялись для освещения улиц, ангаров, складов, т.е. для мест, не предъявляющих высоких требований к качественным характеристикам освещения. По внешнему виду они похожи на лампы накаливания (рис. 3.7), отличаются от линейных и компактных люминесцентных ламп тем, что давление паров ртути в них намного выше, поэтому их называют ртутными лампами высокого давления.

В ДРЛ электрический разряд происходит не по всей колбе, а в маленькой трубке-горелке из кварцевого стекла, прозрачного для ультрафиолетовых лучей. Под влиянием ультрафиолетового излучения горелки люминофор, нанесенный на внутреннюю поверхность колбы, дает яркий, слегка зеленоватый свет. ДРЛ имеют резьбовой цоколь и ввинчиваются в те же патроны, что и лампы накаливания. Однако в сеть они включаются так же, как и люминесцентные, по особой схеме с помощью ПРА.

Дуговые ртутные люминесцентные лампы выпускают мощностью 250, 500, 750 и 1000 Вт.

Лампы ДРЛ вытесняются дуговыми натриевыми трубчатыми лампами и светодиодами, так как с 1 июля 2016 г. в Российской Фе-

дерации введен запрет на приобретение с целью установки в государственных и муниципальных организациях ламп ДРЛ.

Кроме того, Российская Федерация подписала Минаматскую конвенцию по ртути, это означает, что к 2030 г. в нашей стране не должно производиться никаких изделий, содержащих этот металл (энергосберегающие лампы, ртутные градусники, некоторые приборы для измерения давления и др.).

В дуговых натриевых трубчатых лампах (ДНаТ) вместо паров ртути используется натрий (рис. 3.8). Натриевые лампы применяют в основном при освещении автострад, городских транспортных туннелей, а также для декоративного и архитектурного освещения.

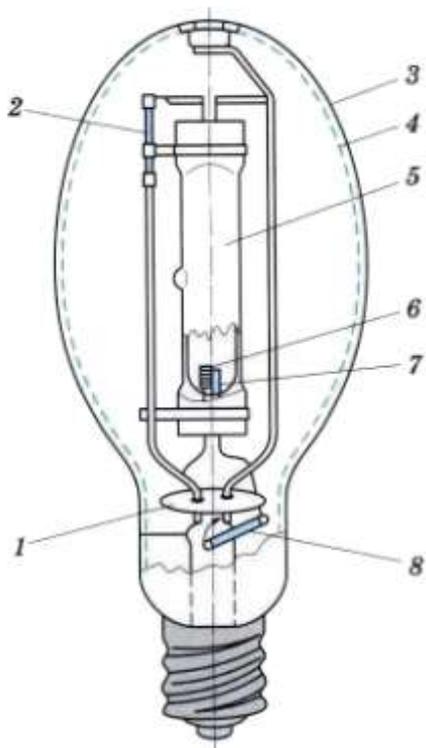


Рис. 3.7. Дуговая ртутная люминесцентная лампа:

1 – экран; 2, 7, 8 – вспомогательные электроды; 3 – колба; 4 – слой люминофора; 5 – разрядная трубка; 6 – электрод

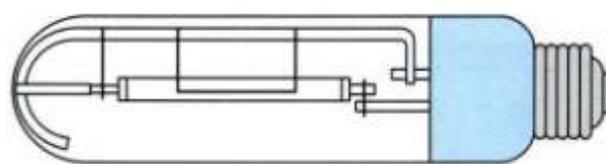


Рис. 3.8. Натриевая лампа типа ДНаТ

В конце 80-х гг. XX в. академик РАН СССР Ж. И. Алферов и другие ученые предложили полупроводниковые элементы, дававшие возможность увеличить мощность, яркость, световую отдачу, время работы новых источников света – *светодиодных ламп*.

Светодиодная лампа (рис. 3.9) включает в себя светодиод (рис. 3.10), устанавливаемый на плату, алюминиевый радиатор, который оберегает лампу от перегрева, и блок питания-драйвер.



Рис. 3.9. Светодиодная лампа

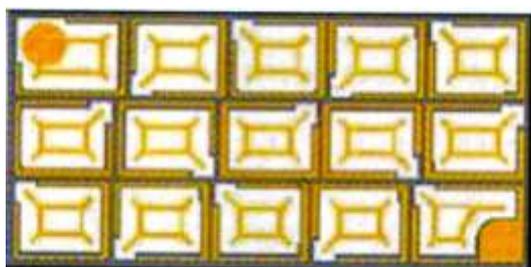


Рис. 3.10. Цепочка из кристаллов для светодиодов

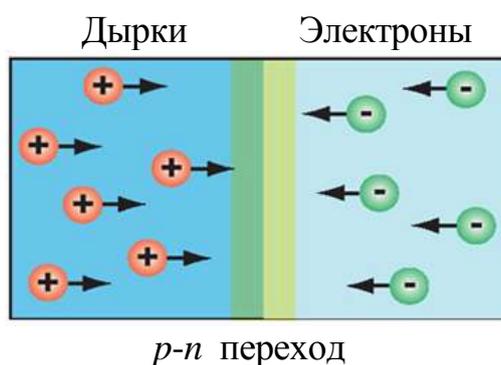


Рис. 3.11. Принцип работы светодиода

Светодиод (*LED – light emitting diode*) представляет собой полупроводниковый прибор, преобразующий поступающий электрический ток в световое излучение; он оснащен двумя выводами – анодом

и катодом. Внешне катод напоминает небольшое углубление в виде воронки, на дне которой расположен полупроводниковый кристалл. Своеобразная перемычка из золота служит для соединения кристалла с анодом. Прозрачный полимерный корпус выполняет функцию фокусирующей линзы с рефлектором, определяя направленность излучения светодиода.

Цвет свечения светодиода зависит от добавок, внесенных в полупроводник. Например, примеси алюминия, гелия, индия, фосфора вызывают свечение от красного до желтого цвета; индия, галлия, азота – от голубого до зеленого цвета. Установка в одном корпусе нескольких групп светодиодов позволяет получить практически любой цвет светового потока. Особенность светодиодов состоит в том, что электрический ток проходит от анода к катоду и не идет обратно. Так, кристаллами полупроводника создается р–п переход (рис. 3.11). Электроны, встречаясь с дырками, теряют свою энергию, благодаря которой в последующем и образуются фотоны (частички света).

Светодиоды изначально применяли в электронике, светосигнальной технике (светофорах, указателях, дорожных знаках и др.). Сегодня в условиях перехода на энергосберегающие технологии светодиоды используются во многих отраслях экономики и в быту. Светодиоды экономичнее других источников света, имеют высокую световую отдачу и большой срок службы (табл. 3.2). Преимуществом светодиодов являются также «зеленые» технологии их производства: они не вредны для окружающей среды, их можно отдать производителю или сдать в металл.

Таблица 3.2

Характеристики источников света

Тип источника света	Световая отдача, лм/Вт	Срок службы, ч	Мощность, Вт
Лампа накаливания	До 10	До 2000	10–1000
Люминесцентная лампа	60–95	12000–15000	4–80
Компактная люминесцентная лампа	30–75	До 12 000	5–80
Металлогалогенная лампа	90–100	6000–10000	35–2000
Дуговая натриевая трубчатая лампа	70–130	6000–20000	50–1000
Светодиод	270	100000	0,1–10

Примечание. Мощности светодиодных сборок могут быть любыми в зависимости от конкретной ситуации.

Однако существует объективный фактор, сдерживающий дальнейшее увеличение световой отдачи светодиодов, их локальный перегрев, возникающий, когда выделяемое кристаллом тепло (~ 70–80% от потребляемой им энергии) не достаточно эффективно отводится в окружающую среду. Локальные перегревы могут стать причиной пожара внутренних элементов светодиодов, деградации, термического разрушения кристаллов, потери светового потока и снижения их сроков службы. Например, за первые 5000 ч работы светодиод теряет 2–3% светового потока. Считается, что светодиод непригоден для использования, когда он потерял 25–30% своего светового потока. Он может работать и 50 тыс. ч, и 100 тыс. ч, но для зрительной работы важно, какой световой поток светодиод будет обеспечивать на рабочем месте.

В соответствии с требованиями к осветительным устройствам и электрическим лампам, утвержденными Постановлением Правительства Российской Федерации № 602 от 20 июля 2011 г., спад светового потока в отношении светодиодных ламп должен быть менее 30% за 25000 ч эксплуатации.

Осветительный прибор состоит из источника света, светильника, оптического устройства, перераспределяющего световой поток в пространстве (отражатель, рассеиватель, преломлятель), устройства коммутации и стабилизации электрического тока, крепления источников света.

Светильники перераспределяют световой поток ламп, исключают вредное слепящее действие на органы зрения работника, а также предохраняют лампы от возможных повреждений, воздействия влаги, вредных веществ и др. В пожароопасных помещениях светильники препятствуют возникновению пожара, который может произойти из-за искрения в контактах патрона лампы или короткого замыкания в проводах, вводимых в патрон. Светильники характеризуются:

- мощностью источника света, напряжением питающей сети;
- коэффициентом полезного действия (КПД) η , равным отношению полезного светового потока прибора к световому потоку источника света. Значения КПД светильников общего освещения, кроме светильников со светодиодами, должны быть для производственных зданий – от 60 до 80%, для общественных зданий – от 50 до 70%;
- защитным углом γ_3 , который определяют измерением параметров h и l на образце светильника (h – минимальная высота светящего тела источника света над горизонталью, проходящей через край вы-

ходного отверстия светильника или экранирующей решетки, мм; l – максимальное расстояние по горизонтали от основания высоты h до края выходного отверстия светильника или расстояние между соседними экранирующими элементами решетки, мм) (рис. 3.12). Защитный угол светильника используют, например, для определения высоты подвеса светильника. Соответствующей высотой подвеса ограничивают ослепленность от светильников. Чем больше защитный угол, тем лучше защитное действие светильника. Защитный угол светильников общего освещения производственных зданий в нижней полусфере должен быть не менее 15° ;

- кривой силы света, дающей зависимость силы света от углов, ориентирующих направление в некоторой плоскости. В соответствии с ГОСТ Р 54350–2011 установлено семь типовых кривых силы света (рис. 3.12): концентрированная (К), глубокая (Г), косинусная (Д), полуширокая (Л), широкая (Ш), равномерная (М), синусная (С). Зона направлений максимальной силы света в зависимости от типа кривой составляет, град.: для К – 0–15; Г – 0–30; Д – 0–35; Л – 35–55; Ш – 55–85; М – 0–180; С – 70–90.

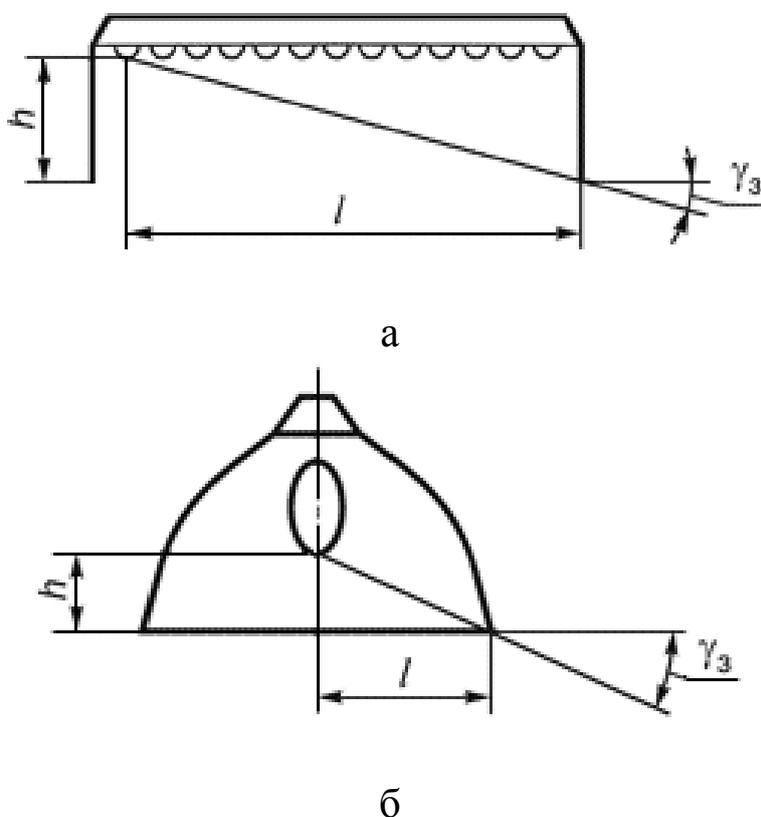


Рис. 3.12. Защитный угол для светильников:

а – со светодиодами; б – с люминесцентными лампами без решетки

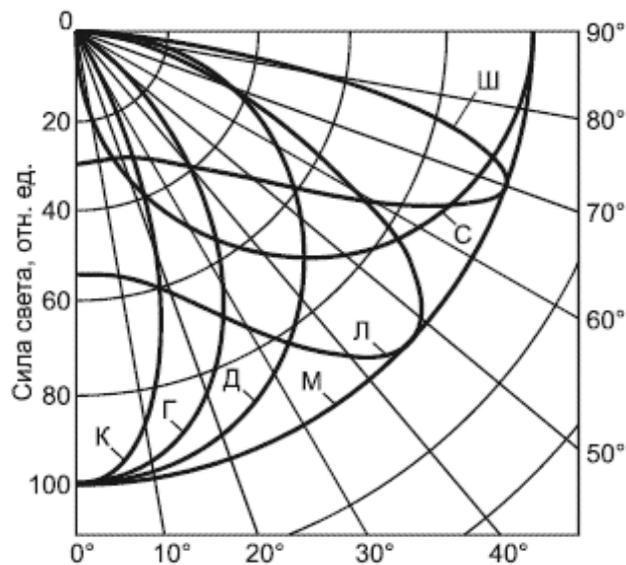


Рис. 3.13. Типы кривых силы света

Кривые силы света приведены для светильников и с условной лампой, световой поток которой принимается равным 1000 лм. Значения силы света на графиках (рис. 3.13) приведены в относительных единицах – кд/кЛм (кандела на килолюмен). Такой подход позволяет более объективно оценивать характеристики светильника вне зависимости от того, какой лампой он будет укомплектован. В разных случаях одни и те же светильники могут эксплуатироваться с разными лампами, однако использование кривых силы света позволяет определить необходимые для светотехнических расчетов параметры, если известны значения световых потоков используемых ламп. То есть для того чтобы понять, каким будет реальное значение силы света в том или ином направлении, необходимо произвести перерасчет по формуле

$$I = I_{1000} \cdot F/1000, \text{ кд},$$

где I – фактическое значение силы света в определенном направлении данного светового прибора при работе с конкретной лампой (или лампами), кд; I_{1000} – сила света в определенном направлении данного светового прибора, указанное на графике кривой силы света, т.е. сила света при работе с условной лампой, кд/кЛм; F – световой поток установленной в световой прибор лампы (или суммарный световой поток всех установленных в световом приборе ламп), лм.

По характеру светораспределения светильники разделены на классы в зависимости от того, какая доля всего потока светильника составляет поток нижней полусферы. Светильники относятся к классу:

- прямого света (П), излучающие в нижнюю полусферу более 80% всего светового потока;

- преимущественно прямого света (Н), излучающие в нижнюю полусферу от 60 до 80% всего светового потока;

- рассеянного света (Р), излучающие в нижнюю полусферу от 40 до 60% всего светового потока;

- преимущественно отраженного света (В), излучающие в нижнюю полусферу от 20 до 40% всего светового потока;

- отраженного света (О), излучающие в верхнюю полусферу не менее 80% всего светового потока.

Светильники прямого света используют в помещениях с темными, плохо отражающими свет потолками и стенами, и в помещениях, где выделяется много пыли, дыма, копоти и испарений.

Светильники преимущественно прямого света устанавливают в помещениях, где стены и потолок хорошо отражают свет. Эти светильники дают легкие тени.

Светильники рассеянного света применяют, когда необходимо осветить как нижнюю, так и верхнюю часть помещения; их используют в помещениях со светлыми потолками и стенами.

Светильники преимущественно отраженного света применяют, если по характеру работы нежелательны даже незначительные тени (например, конструкторские бюро).

Светильники отраженного света используют, когда необходимо осветить преимущественно верхнюю часть помещения.

Для защиты от слепящего действия у светильников с рассеянным отражением поверхность покрывают белой фарфоровой эмалью. Для создания рассеивающего света используют светильники из матового, молочного или опалового стекла и др.

Светильники классифицируют по степени защиты от пыли, воды и взрыва, которую обозначают двумя цифрами: первая – от пыли, вторая – от воды.

Каждому светильнику присваивается шифр (условное обозначение), структура которого такова:

1 – буква, обозначающая источник света (Б – бактерицидные лампы, И – кварцевые галогенные лампы накаливания, Л – прямые трубчатые люминесцентные лампы, Н – лампы накаливания общего

назначения, Р – ртутные лампы типа ДРЛ, Г – ртутные лампы типа ДРИ, Ж – натриевые лампы, К – ксеноновые трубчатые лампы, Ф – фигурные люминесцентные лампы и т.д.);

2 – буква, обозначающая способ установки светильника (Б – настенный, В – встраиваемый, К – консольный, Р – ручной сетевой, С – подвесной, П – потолочный, Т – напольный и венчающий, Ф – ручной аккумуляторный и т.д.);

3 – буква, обозначающая основное назначение светильника (Б – для жилых, бытовых помещений, О – для общественных зданий, П – для промышленных предприятий, Р – для рудников и шахт, У – для наружного освещения);

4 – двузначное число (01–99), обозначающее номер серии;

5 – число, обозначающее количество ламп в светильнике (для одноламповых светильников число 1 и знак «х» не ставят, а мощность указывают непосредственно после тире);

6 – число, обозначающее мощность ламп в Вт;

7 – трехзначное число (000–999), обозначающее номер модификации;

8 – буква и число, обозначающие климатическое исполнение и категорию размещения светильника (У – для регионов с умеренным климатом, Т – для регионов с тропическим климатом и т.д.; 1-я категория – на открытом воздухе, 2-я категория – под навесом и другими полуоткрытыми сооружениями, 3-я категория – в закрытых неотапливаемых помещениях, 4-я категория – в закрытых отапливаемых помещениях).

Например, условное обозначение светильника ЛПО-50 2×40-010-У1 расшифровывается так: потолочный (П) светильник для общественных (О) зданий, предназначенный для двух линейных люминесцентных ламп мощностью 40 Вт (2×40), номер серии – 50, модификация – 010; предназначен для эксплуатации на открытом воздухе (1) в регионах с умеренным климатом (У).

Наряду с условным обозначением светильники имеют и условные наименования (собственные имена), например, «Люцетта», «Астра», «Универсаль» и др.

Например, светильник «Стандарт» – номер серии 1, «Вектор» – 2, «Гранд» – 3, «Ладья» – 4, «Стрела» – 5, «Флагман» – 6, «Солярис» – 10 и др.

Маркировка светодиодных светильников не унифицирована и различна у разных производителей. Например, для светильников, выпускаемых под маркой «Антарес», маркировка включает:

- АСС – Антарес светодиодный светильник;
- тип светильника (П – промышленный, КП – круглый промышленный, уличный, ПР – прожектор, КПР – круглый прожектор, ПБ – промышленно-бытовой, ПО – подвесной офисный, ВО – встраиваемый офисный);
- световой поток, лм;
- тип кривой силы света;
- угол распределения света;
- цветовая температура излучения (N – нормальный белый свет – 4000 К, С – холодно-белый свет – 6500 К, Д – дневной белый свет – 5000 К).

Например, условное обозначение светодиодного светильника АСС-20ПО расшифровывается так: Антарес светодиодный светильник, световой поток – 20 лм, подвесной офисный.

Каждый вид светильника имеет свое обозначение на планах (рис. 3.14). Выбор светильника производят с учетом условий окружающей среды, электрических характеристик (напряжение, мощность, род и сила тока), светотехнических параметров (световой поток, сила света и др.), конструктивных параметров (диаметр колбы, полная длина лампы), стабильности светового потока, электробезопасности, экономической целесообразности (стоимость и световая отдача источника света).

Производственное искусственное освещение характеризуется количественными (световой поток, сила света, яркость, освещенность) и качественными (фон, контраст объекта с фоном, показатели ослепленности, дискомфорта, коэффициент пульсации и др.) показателями.

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается, может быть в зависимости от отражения поверхности: светлым (при коэффициенте отражения поверхности более 0,4); средним (при коэффициенте отражения поверхности от 0,2 до 0,4) и темным (при коэффициенте отражения поверхности менее 0,2).

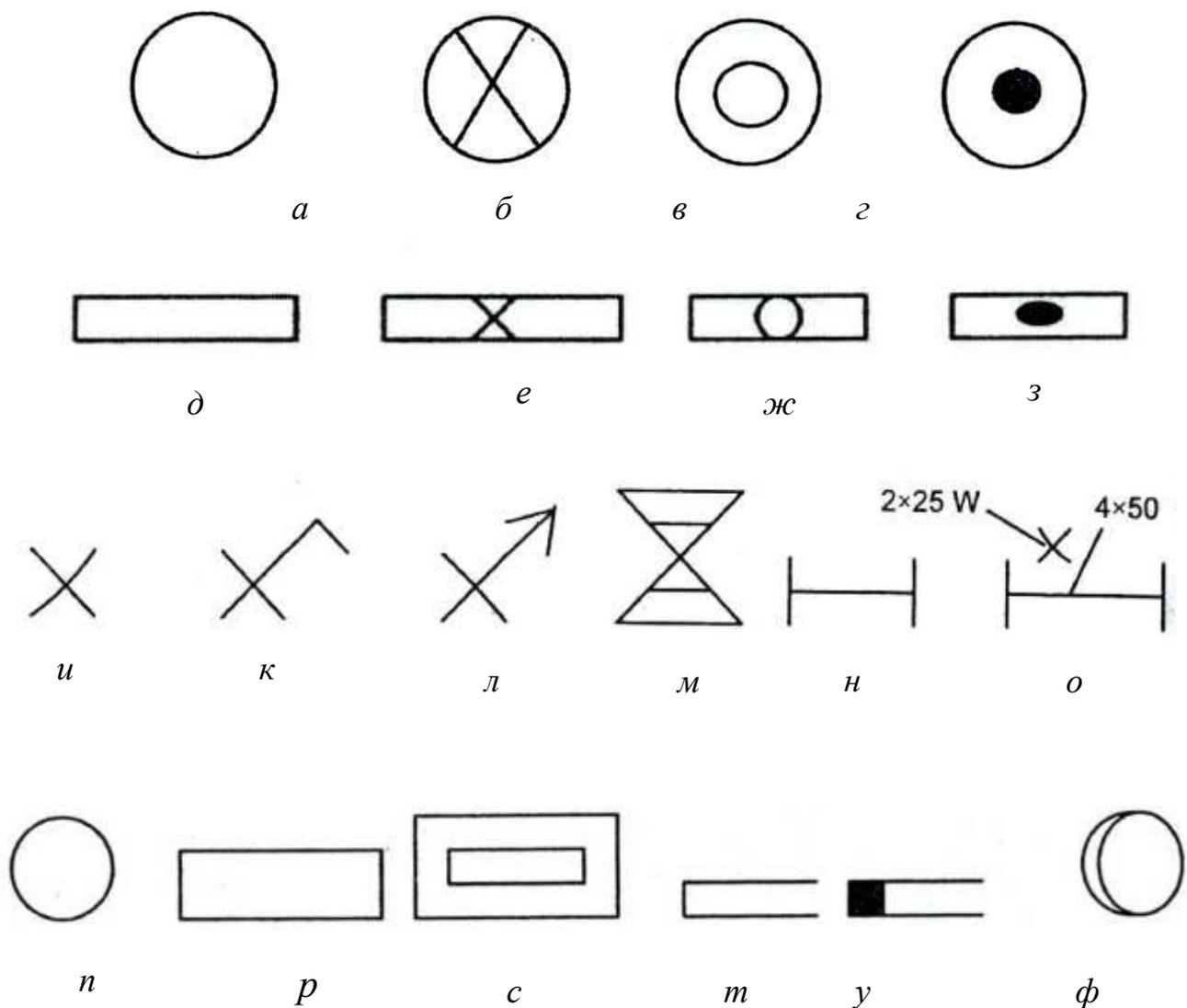


Рис. 3.14. Обозначение светильников на планах:

a – потолочный с лампами накаливания; *б* – подвесной с лампами накаливания; *в* – настенный с лампами накаливания; *г* – встроенный с лампами накаливания; *д* – потолочный с люминесцентными лампами; *е* – подвесной с люминесцентными лампами; *ж* – настенный с люминесцентными лампами; *з* – встроенный с люминесцентными лампами; *и* – светильник с лампами накаливания; *к* – светильник с лампами накаливания и однополюсным выключателем; *л* – светильник с лампами накаливания и регулированием напряжения; *м* – светильник с лампами накаливания для аварийного освещения; *н* – светильник с люминесцентными лампами; *о* – комбинированный светильник с двумя лампами накаливания по 25 Вт (2×25 W) и четырьмя люминесцентными лампами по 80 Вт (4×80 W); *п* – светильник с лампами накаливания (при необходимости одновременного изображения на плане и проводок); *р* – светильник с люминесцентными лампами (при необходимости одновременного изображения на плане и проводок); *с* – светильник с люминесцентными лампами с пусковым устройством вне светильника; *т* – светильники, установленные в линию; *у* – целевой светильник (световод); *ф* – лампа ДРЛ (прежнее обозначение)

Контраст объекта различения с фоном K определяется отношением абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона. Контраст объекта различения с фоном может быть большим (объект и фон резко различаются по яркости, значение K более 5), средним (объект и фон заметно различаются по яркости, при значении K от 0,2 до 0,5), малым (объект и фон мало различаются по яркости, значение K менее 0,2).

Коэффициент пульсации освещенности – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током:

$$K_{\text{П}} = (E_{\text{МАХ}} - E_{\text{МИН}}) \cdot 100 \% / (2E_{\text{СР}}),$$

где $E_{\text{МАХ}}$ и $E_{\text{МИН}}$ – максимальное и минимальное значение освещенности за период ее колебания, лк; $E_{\text{СР}}$ – среднее значение освещенности за этот же период, лк.

Пульсация во времени, возникающая при освещении газоразрядными источниками света, вызывает зрительное утомление и снижает производительность труда.

Показатель ослепленности P – критерий оценки слепящего действия из-за наличия в поле зрения объектов большой яркости:

$$P = (S - 1) \cdot 1000,$$

где S – коэффициент ослепленности:

$$S = U_1 / U_2,$$

где U_1 – видимость объекта при экранировании блеских источников света; U_2 – видимость объекта при наличии блеских источников света в поле зрения.

Показатель ослепленности – критерий оценки ослепляющего действия осветительной установки. Проявление ослепленности характеризуется неприятным, дискомфортным ощущением зрительного восприятия объектов; ослепленность является причиной зрительного утомления и снижения работоспособности глаза, нервно-психических расстройств, головных болей, ошибочных действий и др.

Показатель дискомфорта M – характеристика качества освещения, определяющая степень дополнительной напряженности работы органов зрения, вызванной наличием резкой разницы яркостей одновременно видимых поверхностей в освещенном помещении:

$$M = L_C \cdot \omega^{0,5} / (L_{АД} \cdot \omega_{\theta}^{0,5}),$$

где L_C – яркость блеского источника, кд/м²; ω – угловой размер блеского источника, ср; ω_{θ} – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения; $L_{АД}$ – яркость адаптации, кд/м².

Количественные и качественные параметры искусственного освещения регламентирует СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

Причем действует две системы нормирования: первая система устанавливает нормируемую освещенность E_H как функцию признаков, характеризующих зрительный процесс, без указания конкретной работы – по точности зрительных работ и размеру объекта различения (табл. 3.3), а вторая – отраслевая, учитывающая особенности производственных процессов.

В таблице 3.3 представлены требования, предъявляемые к освещению промышленных предприятий (искусственному, естественному и совмещенному), для осуществления зрительной работы разной характеристики и разряда.

Таблица 3.3

Требования к освещению промышленных предприятий

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Зрительная работа		Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение			
		Разряд	Подразряд			Освещенность, лк. при системе освещения		Р, не более	К _п , %, не более	КЕО е _н , %, при освещении						
						комбинированного				общего	верхним или комбинированном	боковым	верхним или комбинированном	боковым		
						всего	в том числе от общего									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000	500	–	20	10	–	–	6,0	2,0		
						4500	500	–	10	10						
					б	Малый	Средний	4000	400	1250	20	10				
								Средний	Темный	3500	400	1000	10	10		
					в	Малый	Светлый	2500	300	750	20	10				
								Большой	Темный	2000	200	600	10	10		
					г	Средний	Светлый	1500	200	400	20	10				
			Большой	Средний	1250	200	300	10	10							
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	а	Малый	Темный	4000	400	–	20	10	–	–	4,2	1,5		
						3500	400	–	10	10						
					б	Малый	Средний	3000	300	750	20	10				
								Средний	Темный	2500	300	600	10	10		
					в	Малый	Светлый	2000	200	500	20	10				
								Большой	Темный	1500	200	400	10	10		

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	г	Средний	Светлый	1000	200	300	20	10						
				Большой	Средний	750	200	200	10	10						
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	а	Малый	Темный	2000	200	500	40	15	–	–	3,0	1,2		
						1500	200	400	20	15						
					б	Малый	Средний	1000	200	300	40	15				
						Средний	Темный	750	200	200	20	15				
					в	Малый	Светлый	750	200	300	40	15				
						Большой	Темный	600	200	200	20	15				
					г	Средний	Светлый	400	200	200	40	15				
Средней точности	Свыше 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20	4,0	1,5	2,4	0,9		
					б	Малый	Средний	500	200	200	40	20				
					в	Средний	Средний	400	200	200	40	20				
					г	Большой	Светлый	–	–	200	40	20				
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	а	Малый	Темный	400	200	300	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6		
					б	Малый	Средний	–	–	200	40	20				
					в	Средний	Средний	–	–	200	40	20				
					г	Большой	Светлый	–	–	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6		
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII		То же		–	–	200	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное периодическое при постоянном пребывании людей в помещении то же, при периодическом общее наблюдение за инженерными коммуникациями		VIII		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном										
			а		–	–	200	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6	
			б	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном	–	–	75	–	–	1,0	0,3	0,7	0,2	
			в		–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2	
г		–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1				

Примечания. 1. Для подразряда норм от Ia до IIIв может приниматься один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подразряда в гр. 7–11. 2. Освещенность при работах со светящимися объектами размером 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различения и относить их к подразряду «в». 3. Показатель ослепленности регламентируется в гр. 10 только для общего освещения (при любой системе освещения). 4. Коэффициент пульсации $K_{П}$ указан в гр. 10 для системы общего освещения или для светильников местного освещения при системе комбинированного освещения. $K_{П}$ от общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 20%. 5. Предусматривать систему общего освещения для разрядов I-III, IVа, IVб, IVв, Va допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с Роспотребнадзором. 6. В помещениях, специально предназначенных для работы или производственного обучения подростков, нормированное значение КЕО повышается на один разряд по гр. 3 и должно быть не менее 1,0%.

Нормативные значения для коэффициента пульсации $K_{\text{П}}$ освещенности и показателя ослепленности P принимают по отраслевым (ведомственным) нормам искусственного освещения. Если в отраслевых (ведомственных) нормах нормативные значения $K_{\text{П}}$ и P не указаны, то их величины принимают по таблицам 3.4–3.5 в соответствии с разрядами, подразрядами зрительных работ и типами источников света.

Таблица 3.4

**Нормируемые значения коэффициента пульсации $K_{\text{П}}$
для газоразрядных ламп**

Система освещения	Коэффициент пульсации $K_{\text{П}}$, %, при разрядах зрительных работ		
	I, II	III	IV–VIII
Общее освещение	10	15	20
Комбинированное освещение:			
общее	20	20	20
местное	10	15	20

Таблица 3.5

Нормативные значения показателя ослепленности P

Разряд зрительной работы	Показатель ослепленности P
I, II,	20
III, IV, V, VI, VII, VIIIa	40

Показатель ослепленности P для ограничения слепящего действия осветительных установок в условиях открытого пространства не должен превышать следующих значений:

- 800 – при норме освещенности 1–2 лк;
- 700 – при норме освещенности 3 лк;
- 500 – при норме освещенности 5 и 10 лк.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа выполняется в три этапа и включает:

- 1) измерение освещенности, создаваемой различными источниками света, и определение коэффициента использования осветительной установки. Сравнение освещенности с нормируемыми значениями;

2) измерение и сравнение коэффициентов пульсаций $K_{П}$ освещенности, создаваемой различными источниками света;

3) исследование зависимости коэффициента пульсаций $K_{П}$ от способа подключения ламп к фазам трехфазной сети.

Лабораторная установка состоит из макета производственного помещения, оборудованного различными источниками искусственного освещения (рис. 3.15), и пульсметра-люксметра для измерения значений освещенности и ее коэффициента пульсаций $K_{П}$.



Рис. 3.15. Внешний вид лабораторной установки

Лабораторная установка имеет каркас из алюминиевого профиля, панелей, имитирующих пол, потолок, боковые, заднюю и переднюю стенки. Задняя стенка и боковые стенки являются съемными, могут устанавливаться любой из двух сторон внутрь макета помещения, фиксируясь в проемах каркаса с помощью магнитных защелок. Одна сторона стенок окрашена в светлые тона, другая – в темные, при этом нижняя окрашенная половина стенки – темнее верхней.

В передней нижней части каркаса предусмотрено окно для установки датчика пульсметра-люксметра внутрь каркаса. На уровне пола помещения размещен вентилятор для наблюдения стробоскопического эффекта. В верхней панели установлены две лампы накаливания, три люминесцентные лампы типа КЛ9, галогенная лампа и люминесцентная лампа типа СКЛЭН с высокочастотным преобразователем. Вертикальная проекция ламп отмечена на полу помещения цифрами, соответствующими номерам ламп на лицевой панели макета.

Подача электропитания на установку производится автоматическим выключателем, находящимся на задней панели каркаса, и индицируется сигнальной лампой, расположенной на передней панели каркаса. Электропитание ламп накаливания и люминесцентных ламп осуществляется от разных фаз. Схема позволяет включать отдельно каждую лампу с помощью соответствующих переключателей, расположенных на передней панели (рис. 3.16).

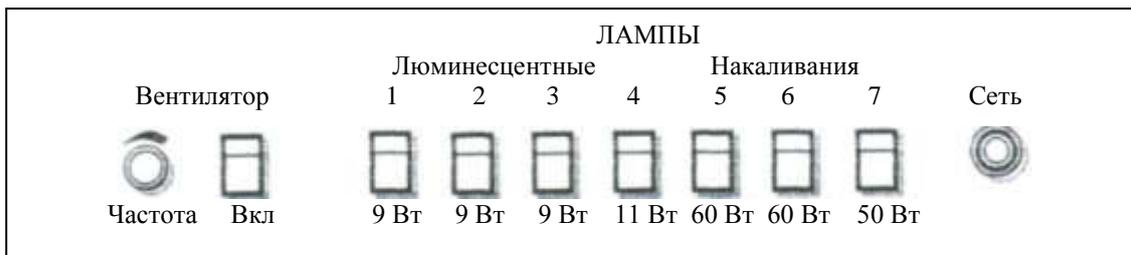


Рис. 3.16. Лицевая панель макета и цифры, соответствующие номерам ламп

При выполнении лабораторной работы используется пульсметр-люксметр типа ТКА-ПКМ-08, предназначенный для измерения освещенности в диапазоне от 10 до 200000 лк и коэффициента пульсации $K_{П}$ в диапазоне от 0 до 100% (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Пульсметр-люксметр типа ТКА-ПКМ-08

Конструктивно пульсметр-люксметр типа ТКА-ПКМ-08 состоит из двух функциональных блоков: электронно-оптического и блока обработки сигналов, связанных между собой гибким многожильным кабелем. На лицевой стороне блока обработки сигналов расположены следующие органы управления и индикации:

- цифровой индикатор (две строки: первая – освещенность E , лк, вторая – коэффициент пульсации $K_{П}$, %);
- кнопки питания *Вкл*, *Выкл*;
- кнопка управления *HOLD*;
- кнопка *Подсветка*;
- разъем.

Фотоприемный элемент с корректирующими фильтрами, формирующими спектральные характеристики, располагается в измерительной головке в верхней части электронно-оптического блока.

После включения прибора кнопкой *Вкл* необходимо дождаться появления на дисплее надписи *Затемните датчик и Нажмите HOLD*. Накройте датчик рукой и нажмите кнопку *HOLD*. При этом осуществляется автоматическая калибровка нулевых показаний прибора. Дождитесь появления на экране дисплея нулевых показаний, и прибор готов к работе.

Если во время работы появится надпись *Замените батарейку*, информирующая о недостаточной емкости батареи питания, то необходимо произвести замену элемента питания.

Для определения коэффициента использования η осветительной установки установите на стенке макета производственного помещения накладки темного цвета, включите лабораторную установку с помощью автомата защиты, находящегося на задней стенке.

Включите лампы (выбор типа ламп производит преподаватель), произведите измерение освещенности с помощью пульсметра-люксметра типа ТКА-ПКМ-08 не менее чем в пяти точках макета производственного помещения (в центре и углах пола) и определите среднее значение освещенности $E_{СРН}$. Уберите накладки, произведите измерение освещенности с помощью пульсметра-люксметра не менее чем в пяти точках макета производственного помещения (в центре и углах пола) и определите среднее значение освещенности $E_{СР}$. Сравните полученные значения освещенности $E_{СРН}$ и $E_{СР}$ с нормируемыми значениями (табл. 3.3). Разряд зрительных работ по точности примите по указанию преподавателя.

По результатам измерений освещенности для варианта с темной и светлой окраской панелей вычислите значение фактического светового потока $F_{\text{ФАКТ}}$ по формуле

$$F_{\text{ФАКТ}} = E_{\text{СР}} \cdot S, \text{ лм},$$

где S – площадь пола макета производственного помещения S (принять $S = 0,42 \text{ м}^2$).

Вычислите коэффициент использования осветительной установки η для варианта с темной и светлой окраской стен:

$$\eta = F_{\text{ФАКТ}}/F_{\text{ЛАМП}},$$

где $F_{\text{ЛАМП}}$ – суммарный световой поток ламп (выбрать по таблице 3.6 по номинальной мощности для каждого типа ламп).

Таблица 3.6

Номинальная мощность и световой поток ламп

Тип ламп	Номинальная мощность, Вт	Номинальный световой поток, лм
Лампа накаливания	60	730
Лампа накаливания криптоновая	60	800
Лампа люминесцентная КЛ9	9	600
Лампа люминесцентная СКЛЭН	11	700
Лампа галогенная	50	850

Повторите измерения для другого типа ламп, заполните таблицу, сравните значения коэффициента использования осветительной установки η для варианта с темной и светлой окраской стен.

Определение коэффициента использования η осветительной установки

№ п/п	Первый тип ламп при окраске стен		Второй тип ламп при окраске стен	
	светлой	темной	светлой	темной
1				
2				
3				
4				
5				

Коэффициенты пульсации светового потока K_{Π}

Количество включаемых ламп по фазам	Коэффициент пульсации светового потока K_{Π} , %	
	галогенная лампа	люминесцентная лампа
1		
2		
3		

Для определения коэффициента пульсации светового потока K_{Π} с помощью пульсметра-люксметра последовательно проведите замеры K_{Π} для всех типов ламп на лабораторной установке. Результаты занесите в таблицу.

Сравните между собой коэффициенты пульсации светового потока K_{Π} при включении различных типов ламп и выберите наибольшее значение. Включите вентилятор и люминесцентную лампу КЛ9 в центре лабораторной установки.

Вращая ручку *Частота*, т.е. изменяя скорость вращения лопастей вентилятора, добейтесь возникновения иллюзии неподвижности или обратного вращения. При одновременном включении трех ламп убедитесь в уменьшении стробоскопического эффекта.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о значении искусственного освещения в жизнедеятельности человека.

2. Назовите виды искусственного освещения по конструктивному оформлению.

3. Перечислите количественные и качественные параметры, характеризующие искусственное освещение.

4. Приведите характеристику рабочего, аварийного, эвакуационного и охранного освещения.

5. От каких факторов зависит выбор источника света и светильника в помещении?

6. Дайте определение понятиям: световой поток, сила света, освещенность, яркость.

7. Сравните характеристики ламп накаливания, газоразрядных и светодиодных ламп.

8. Что обозначают термины: объект различения, фон, контраст объекта с фоном и характеристика зрительной работы?

9. Каковы причины пульсации светового потока и стробоскопического эффекта?

10. Перечислите приборы и расскажите о методике измерения количественных и качественных характеристик систем освещения.

11. Какие показатели учитывают при нормировании освещенности на рабочем месте?

12. Назовите основные требования, предъявляемые к системам искусственного освещения.

Лабораторная работа № 4 «Исследование естественного освещения»

1. Краткие теоретические сведения

Естественный солнечный свет является главным источником жизни для земного существования. Однако для человека естественный солнечный свет имеет еще и значительный эффект, связанный не только с качеством зрения, но также и с визуальным чувством пространства и свежего воздуха, натуральным цветом предметов, регулированием биологических ритмов. Длительное пребывание без естественного света является главной причиной некоторых видов депрессивных состояний.

Естественное освещение характерно для светлого времени суток, оно обладает благоприятным для зрения человека спектральным составом.

По конструктивному оформлению естественное освещение бывает:

- односторонним боковым;
- двусторонним боковым;
- верхним;
- комбинированным (сочетание верхнего и бокового освещения).

Выбор системы освещения (верхнего, бокового или комбинированного) определяют в зависимости от назначения помещения.

Верхнее и комбинированное естественное освещение применяют преимущественно в производственных одноэтажных многопролетных зданиях (три пролета и более).

Боковое естественное освещение используют в многоэтажных производственных зданиях, а также в производственных зданиях, в которых отношение глубины помещений к высоте окон над условной рабочей поверхностью не превышает 8.

Для устройства верхнего естественного освещения помещений зданий применяют зенитные, светоаэрационные, шахтные фонари и шеды.

Зенитные фонари рекомендуется применять в помещениях общественных зданий, а также в помещениях производственных зданий с сухим и нормальным температурно-влажностным режимом и избытками явного тепла, не превышающими 23 Вт/м^2 .

Зенитные фонари классифицируют по следующим основным признакам:

- материал и вид элементов светопропускающего заполнения (листовое стекло, стеклопакеты, купола и панели из полимерных материалов);

- форма поверхности элементов светопропускающего заполнения (односкатные, двухскатные, пирамидальные, криволинейные);

- конструктивное решение (глухие, открывающиеся) (рис. 4.1).

Опорные контуры зенитных фонарей должны возвышаться над кровлей не менее чем на 300 мм. Угол наклона к горизонту α светопропускающего заполнения зенитных фонарей должен составлять не менее 12° . Грани опорных контуров фонарей могут выполняться наклонными с углом наклона граней к вертикали – не более 30° .

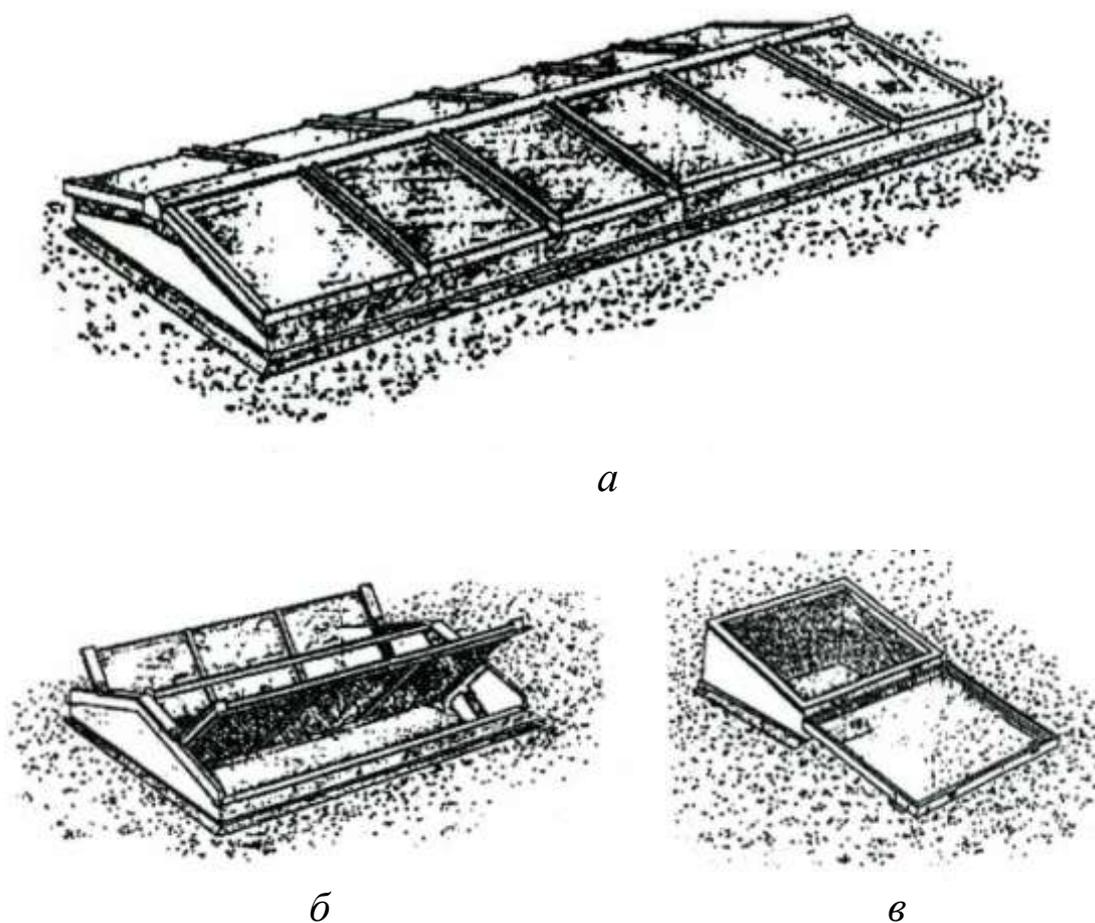


Рис. 4.1. Зенитные фонари со светопропускающими элементами из стеклопакетов:

а – двухскатный глухой; *б* – двухскатный открывающийся;
в – односкатный открывающийся

Общая площадь световых проемов зенитных фонарей не должна превышать 15% площади пола. В случае, если при этом не достигается средний требуемый уровень естественного освещения в помеще-

нии, предусматривают совмещенное освещение. Размеры световых проемов зенитных фонарей выбирают с учетом высоты помещений. Например, для помещений высотой до 6 м применяют зенитные фонари с площадью световых проемов до 3 м².

Для устройства естественного освещения помещений производственных зданий с избытками явного тепла от 23 до 50 Вт/м², к которым не предъявляются специальные требования к чистоте воздуха, применяют прямоугольные одноярусные **светоаэрационные фонари** (рис. 4.2), располагаемые по оси пролетов здания. Длина фонарей не должна превышать 120 м, расстояние между торцами фонарей, а также от торца фонаря до наружной стены – не менее 6 м. С внутренней стороны остекления светоаэрационных фонарей устанавливают защитную металлическую сетку с размерами ячеек не более 50×50 мм из оцинкованной проволоки диаметром 2 мм. Сетку располагают вертикально вдоль внутренней стороны несущих стоек фонаря на высоту не менее 1/3 высоты светового проема.

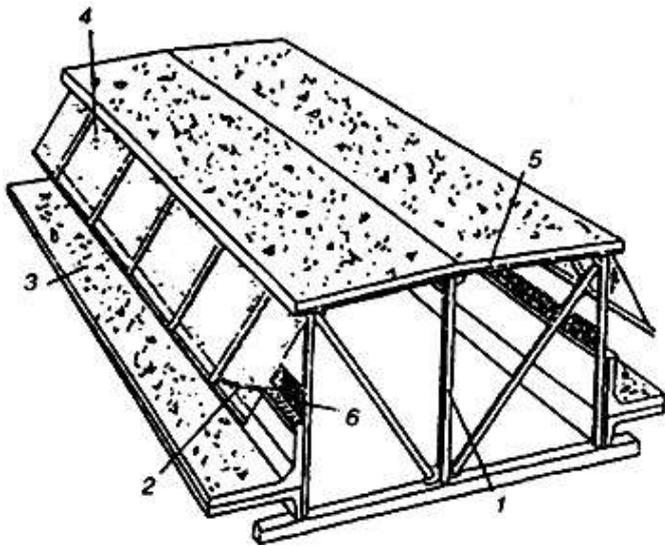


Рис. 4.2. Одноярусный
светоаэрационный
фонарь:

1 – несущие элементы; 2 – механизм открывания, 3 – рамочный створный элемент; 4 – светопропускающее заполнение; 5 – покрытие; 6 – защитная сетка

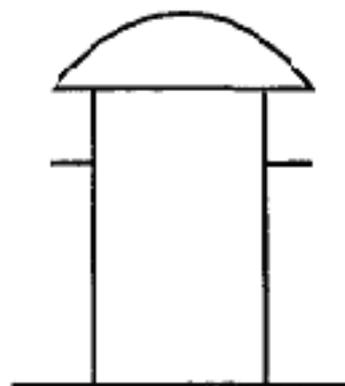


Рис. 4.3. Шахтный фонарь

В местах перепада высот в производственных зданиях с большой площадью используют **шахтные фонари** (рис. 4.3), **шеды** (вы-

ступающая застекленная с одной стороны часть покрытия здания в виде пространственной складки треугольного или близкого к нему поперечного сечения). Выполняют в виде трапециевидного фонаря (рис. 4.4, *а*), шед, имеющего наклонное остекление (рис. 4.4, *б*), прямоугольного фонаря (рис. 4.4, *в*) и шед, имеющего вертикальное остекление (рис. 4.4, *г*).

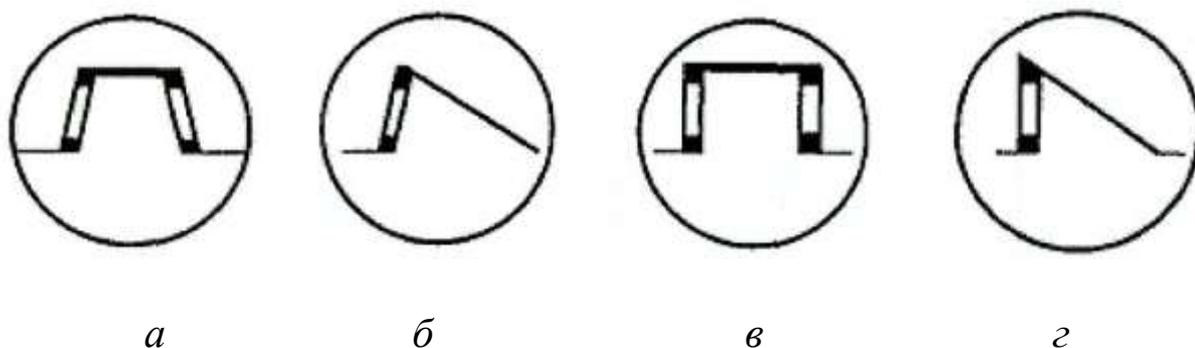


Рис. 4.4. Шед:

а – в виде трапециевидного фонаря; *б* – имеющий наклонное остекление; *в* – в виде прямоугольного фонаря; *г* – имеющий вертикальное остекление

Все методы оценки естественного освещения делятся на две группы: светотехнические и геометрические.

К светотехническим методам относится определение коэффициента естественной освещенности (КЕО), выраженного в процентах отношения освещенности на данной горизонтальной поверхности внутри помещения E_B к единовременной освещенности рассеянным светом E_0 :

$$КЕО = (E_B \cdot 100) / E_0, \%$$

Гигиенические требования к нормируемой величине КЕО регламентирует СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» в зависимости от пояса светового климата (табл. 4.1), времени года и суток, наличия затенения противостоящими зданиями, количества оконных проемов, их конструкции, конфигурации, размещения на светонесущей стене, характера и чистоты оконного стекла, окраски потолка и стен.

Пояса светового климата

Пояс светового климата	Административный район Российской Федерации по ресурсам светового климата
1	Мурманская область, Архангельская область (севернее 64° с. ш.), Республика Карелия, Ямало-Ненецкий автономный округ (севернее 68° с. ш.), Таймырский автономный округ (севернее 73° с. ш.), Чукотский автономный округ (севернее 67° с. ш.)
2	Псковская, Новгородская, Калининская, Ленинградская, Костромская, Вологодская области, Архангельская область (южнее 64° с. ш.)
3	Смоленская, Брянская, Калужская, Московская, Орловская, Тульская, Курская, Липецкая, Воронежская, Рязанская, Владимирская, Ивановская и Горьковская области, Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Удмуртская Республика, Республика Татарстан, Республика Башкортостан, Республика Саха-Якутия (южнее 63° с. ш.), Пензенская, Тамбовская, Кировская, Ульяновская, Куйбышевская, Саратовская, Пермская, Свердловская, Челябинская, Оренбургская, Тюменская, Курганская, Омская, Новосибирская, Кемеровская, Иркутская, Томская области, Красноярский край (южнее 63° с. ш.), Хабаровский край (севернее 55° с. ш.), Камчатская область
4	Белгородская, Ростовская, Волгоградская, Амурская, Астраханская, Читинская, Сахалинская области, Республика Калмыкия, Алтайский край, Республика Тыва, Республика Бурятия, Хабаровский край (южнее 55° с. ш.), Приморский край
5	Ставропольский, Краснодарский края, Республика Кабардино-Балкарская, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Республика Северная Осетия, Чеченская Республика

Нормируемую величину КЕО определяют по формуле

$$e_N^{1, 2, 4, 5} = e_N^3 \cdot m \cdot C,$$

где N – номер группы помещения по задачам зрительной работы (табл. 4.2); e_N^3 – нормируемое значение КЕО для помещений, расположенных в третьем поясе светового климата; m – коэффициент светового климата для производственных (табл. 4.3) и административных помещений (табл. 4.4); C – коэффициент солнечности климата (табл. 4.5), учитывающий дополнительный световой поток, проникающий через световые проемы в помещение за счет прямого и отраженного солнечного света в течение года.

Группа помещений по задачам зрительной работы

Группа помещений	Характеристика
I	Помещения, в которых производится различение объектов зрительной работы, при фиксированном направлении линии зрения работающих на рабочую поверхность (производственные помещения, конструкторские бюро, лаборатории, аудитории, читальные залы и др.)
II	Помещения, в которых производится различение объектов при нефиксированной линии зрения и обзор окружающего пространства (надзор за работой технологического оборудования)
III	Помещения, в которых производится обзор окружающего пространства при очень кратковременном, эпизодическом различении объектов (комнаты отдыха, вестибюли, гардеробные и т.п.)
IV	Помещения, в которых происходит общая ориентировка в пространстве интерьера (проходы, коридоры, гардеробные производственных зданий, санузлы, закрытые стоянки автомобилей и т.п.)

После того как установлена нормируемая величина КЕО переходят к определению его фактического значения $КЕО_{ФАКТ}$. В зависимости от функционального назначения помещений $КЕО_{ФАКТ}$ устанавливают либо для пола, либо для поверхности, на которой производится работа (рабочая поверхность), либо для условно-рабочей поверхности – горизонтальной плоскости, расположенной на высоте 0,8 м от пола.

В помещениях с боковым освещением (рис. 4.5) определяют минимальное значение в точках с наихудшей освещенностью, при боковом двустороннем освещении и симметричных светопроемах – в середине помещения.

В помещениях с верхним или комбинированным освещением рассчитывают среднее значение $e_{СР}$ ($КЕО_1, КЕО_2, КЕО_3, \dots, КЕО_n$ – значения КЕО в отдельных точках помещения, находящихся на равных расстояниях друг от друга (рис. 4.5); n – число точек, в которых определяют КЕО (не менее 5). При проведении подобных расчетов необходимо, чтобы первая и последняя точки располагались на расстоянии 1 м от поверхности стен.

Таблица 4.3

Коэффициент светового климата m для производственных помещений

Пояс светового климата	Коэффициент светового климата m	Пояс светового климата	Коэффициент светового климата m
I	1,2	IV	0,9
II	1,1	V	0,8
III	1,0		

Таблица 4.4

Коэффициент светового климата m для административных помещений

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата m				
		Номер группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	СВ, СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	З, В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ, ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75
В зенитных фонарях	–	1	0,9	1,2	1,2	0,75

Примечание: С – северная; СВ – северо-восточная; СЗ – северо-западная; В – восточная; З – западная; Ю – южная; ЮВ – юго-восточная; ЮЗ – юго-западная ориентация.

Естественная освещенность считается хорошей, если при боковом освещении $e_{CP} \geq 80 e_H$, а при верхнем – $e_{CP} \geq 60 e_H$.

Неравномерность не должна быть менее 0,5 для работ I и II разрядов зрительных работ по точности и 0,33 – для III и IV разрядов зрительных работ по точности.

Неравномерность естественного освещения производственных зданий с верхним или комбинированным освещением не должна превышать 3:1. Неравномерность естественного освещения не нормируется для помещений с боковым освещением, для производственных помещений, в которых выполняются работы VII и VIII разрядов.

Если установлена нормируемая величина КЕО, можно рассчитать количество световых проемов и их суммарную площадь.

Для ориентировочной оценки естественного освещения помещений используют геометрические методы. Эти методы не учитывают многих факторов, влияющих на величину и продолжительность естественного освещения.

Коэффициент солнечности климата С

Пояс светового климата	При световых проемах, ориентированных по сторонам горизонта (азимут)						При зенитных фонарях	
	в наружных стенах зданий			в прямоугольных и трапециевидных фонарях				
	136–225°	226–315° 46–135°	316–45°	69–113° 249–293°	24–68° 204–248° или 114–158° 294–338°	159–203° 339–23°		в фона- рях типа шед 316–45°
I	0,9	0,95	1	1	1	1	1	1
II	0,85	0,9	1	0,95	1	1	1	1
IV:								
Севернее 50° с. ш.	0,75	0,8	1	0,85	0,9	0,95	1	0,9
50° с. ш. и южнее	0,7	0,75	0,95	0,8	0,85	0,9	0,95	0,85
V:								
Севернее 40° с. ш.	0,65	0,7	0,9	0,75	0,8	0,85	0,9	0,75
40° с. ш. и южнее	0,6	0,65	0,85	0,7	0,75	0,8	0,85	0,65

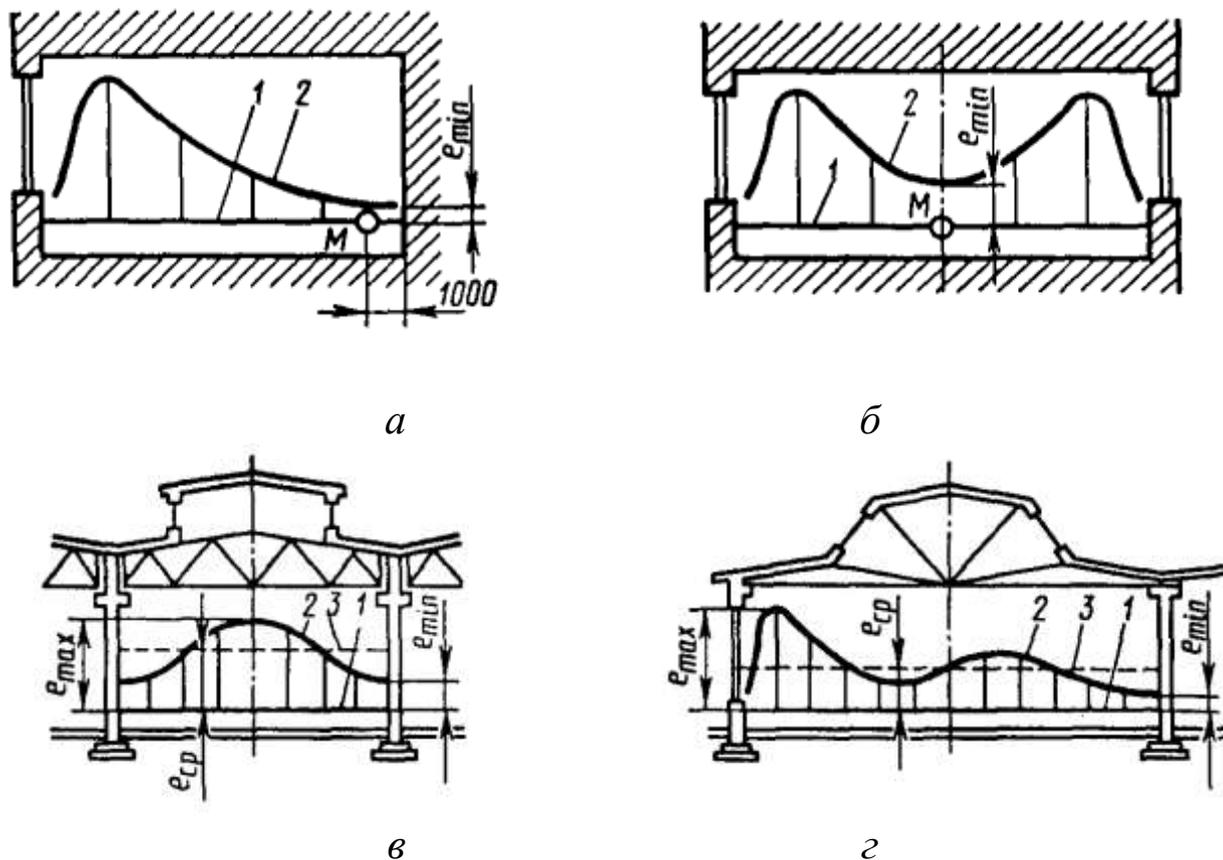


Рис. 4.5. Кривые распределения естественной освещенности при освещении:
а – одностороннем боковом; *б* – двустороннем боковом; *в* – верхнем;
г – комбинированном; 1 – уровень рабочей плоскости; 2 – кривая,
характеризующая изменение освещенности в плоскости разреза помещения;
3 – уровень среднего значения КЕО; e_{cp} – при верхнем и комбинированном
освещении; e_{min} , e_{max} – при боковом одно- и двустороннем освещении; М – точка
минимальной освещенности при боковом одно- и двустороннем освещении

Так как наружная освещенность не постоянна и резко колеблется как по времени года, так и по часам суток, то ориентировочную оценку естественного освещения производят по световому коэффициенту.

Световым коэффициентом называется отношение суммарной площади окон в помещении к площади пола:

$$C_K = f \cdot n / S_{\Pi},$$

где f – площадь одного оконного проема, m^2 ; n – количество оконных проемов, m^2 ; S_{Π} – площадь пола, m^2 .

Величину остекленной поверхности приводят к единице. Для этого числитель и знаменатель отношения делят на числитель. Если оконный блок имеет сложный рисунок, то для упрощения расчета светового коэффициента допускается уменьшение площади остекленной поверхности на 20–25%. Принято считать, что достаточная естественная освещенность в жилых помещениях обеспечивается, если световой коэффициент составляет от 1:5,5 до 1:8, а в некоторых производственных помещениях – согласно значениям, приведенным в таблице 4.6.

Таблица 4.6

**Значения светового коэффициента C_K
в некоторых производственных помещениях**

Производственное помещение	Световой коэффициент C_K
Ремонтно-механическая мастерская	1:4–1:6
Разборочно-моечное отделение	1:15–1:20
Отделение по горячей и холодной обработке металлов	1:20–1:30
Отделение газо-, электросварочных работ	1:15–1:20
Отделение обкатки и испытания машин и агрегатов	1:10–1:15
Насосные станции	1:10–1:15
Постройки для содержания крупного рогатого скота	1:10–1:15
Доильные залы, пункты искусственного осеменения	1:10–1:12
Постройки для содержания свиней	1:10–1:15
Постройки для содержания птиц	1:8–1:12
Инкубационные залы и яйцесклады	1:15–1:20

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Цель лабораторной работы: изучение естественного освещения в помещении учебной аудитории.

Оборудование: люксметры типа Ю-16 или Ю-18; они состоят из фотоэлемента 2 и измерителя силы тока 1 (рис. 4.6).

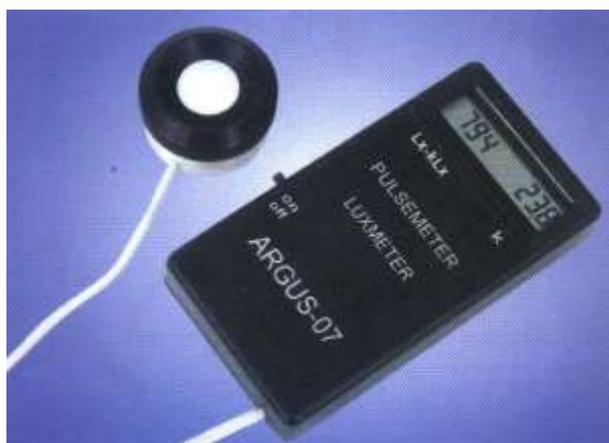


Рис. 4.6. Люксметр-пульсметр
1 – гальванометр; 2 – селеновый фотоэлемент

Электрический ток создается фотоэлементом, он пропорционален его освещенности. Измерительное устройство, градуированное в люксах, показывает значение освещенности в люксах (лк). Градуировка люксметра осуществляется при свете ламп накаливания. Поэтому при измерении освещенности, создаваемой другими источниками света, необходимо вводить в показания прибора поправочные коэффициенты. Для естественного освещения этот коэффициент равен 0,8.

Прибор имеет две шкалы: 0–100 и 0–30. На боковой стенке корпуса измерителя расположена вилка для присоединения фотоэлемента, заключенного в пластмассовый корпус, который присоединяется шнуром с розеткой к измерителю. Косинусную погрешность уменьшает насадка на фотоэлемент, состоящая из полусферы, выполненной из белой светорассеивающей пластмассы и непрозрачного пластмассового кольца, имеющего сложный профиль. Насадка обозначена буквой К, нанесенной на ее внутреннюю сторону. Эта насадка совместно с одним из трех фильтров, имеющих обозначение М, Р, Т, образует три поглотителя с коэффициентами ослабления 10, 100, 1000.

При работе с люксметром нужно знать следующее. Если нажата правая кнопка, то для отсчета показаний пользуются шкалой 0–100, если левая – шкалой 0–30. Значения снятых с прибора показаний умножают на коэффициент пересчета шкалы, зависящей от применяемых насадок. Например, на фотоэлементе установлены насадки К, Р, нажата левая кнопка, стрелка показывает 10 делений по шкале 0–30. Измеряемая освещенность равна $10 \cdot 100 = 1000$ лк, а с учетом поправочного коэффициента $1000 \text{ лк} \cdot 0,8 = 800$ лк.

Во избежание неточных показаний люксметра следует избавить фотоэлемент от излишней освещенности, не соответствующей выбранным насадкам. Поэтому, если величина измеряемой освещенности неизвестна, измерения начинают с установки на фотоэлемент насадок К, Т.

Если при насадках К, М и нажатой левой кнопке стрелка не доходит до деления 5 по шкале 0–30, измерения производят без насадок, т.е. открытым фотоэлементом.

По окончании измерений фотоэлемент отсоединяют от измерителя люксметра, надевают на фотоэлемент насадку Т и фотоэлемент помещают в крышку футляра.

Измерения освещенности необходимо произвести в точках характерного разреза помещения. При этом точки замеров (не менее пяти) следует принимать на равных расстояниях друг от друга, располагая первую и последнюю точки на расстоянии 1 м от стен (или осей средних рядов колонн).

В обследуемом помещении намечают ряд характерных разрезов, расположенных перпендикулярно к продольной стене с оконными проемами. Для возможности построения изолиний расстояние между сечениями назначают в пределах 6–12 м. Каждый характерный разрез помещения разбивают на ряд точек через 2–4 м.

По данным измерений на плане помещения строят изолюксы и кривые горизонтальной освещенности по сечениям помещения.

К таблицам и графикам с результатами измерений прикладывают карту обследования, содержащую следующие данные: размеры обследуемого помещения; состояние стен, потолков (степень загрязнения); окраска (светлая, темная); краткое описание процесса в аспекте выделения пыли, газов, пара; характеристику зрительной работы; продолжительность пребывания людей на рабочих местах.

По результатам измерений производят сравнение и делают заключение о соответствии условий естественного освещения требованиям СП 52.13330.2011 или СП 23-102-2003.

С помощью рулетки измерьте высоту и ширину окон.

Рассчитайте общую площадь всех окон S_0 .

Определите площадь застекленной части окон S_3 , учитывая, что 10% их общей площади приходится на переплеты.

Измерив длину и ширину помещения учебной аудитории, рассчитайте площадь пола $S_{п}$.

Определите световой коэффициент по формуле

$$C_K = S_3/S_{\Pi}.$$

Оцените коэффициент заглубления K_3 , т.е. отношение высоты верхнего края окна над полом к ширине помещения учебной аудитории.

Повторите все измерения 3–4 раза и рассчитайте средние значения светового коэффициента C_K и коэффициента заглубления K_3 . Полученные данные занесите в таблицу.

Оценка естественного освещения

Номер аудитории	Световой коэффициент C_K	Коэффициент заглубления K_3

Сравните полученные данные с санитарно-гигиеническими нормами (табл. 4.6).

Работа без естественного освещения является вредной, поэтому работникам предоставляются компенсации согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 20 ноября 2008 г. № 870. По результатам спецоценки рабочих мест по условиям труда установлены следующие минимальные компенсации:

- сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 36 ч в неделю;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск – не менее 7 календарных дней;
- повышение оплаты труда – не менее 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о значении естественного освещения в жизнедеятельности человека.
2. Назовите виды естественного освещения по конструктивному оформлению.

3. Какие количественные параметры характеризуют естественное освещение?

4. На чем основан принцип работы люксметра?

5. От каких факторов зависит величина КЕО?

6. Какие факторы влияют на коэффициент неравномерности естественного освещения?

7. Определите степень соответствия естественной освещенности в ремонтно-механической мастерской (площадь пола – 2000 м²) действующим санитарно-гигиеническим нормам при следующих исходных данных: общая площадь окон в мастерской – 120 м², на переплеты окон приходится 10% их площади.

Лабораторная работа № 5 «Исследование параметров микроклимата в производственных помещениях»

1. Краткие теоретические сведения

Микроклимат производственных помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется сочетанным действием на организм человека следующих комплексных факторов (параметров):

- температура воздуха, °С;
- температура ограждающих поверхностей (стен, перегородок, пола, потолка), °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость движения воздуха, м/с;
- интенсивность теплового облучения, Вт/м²;
- барометрическое (атмосферное) давление, Па.

Каждый из параметров микроклимата отдельно или в комплексе оказывает значительное влияние на протекание жизненных процессов в организме, определяя самочувствие и тепловое состояние человека.

Организм человека представляет собой саморегулирующуюся систему, физиологический механизм которой с целью поддержания постоянной температуры тела направлен на обеспечение соответствия количества образованного тепла (телопродукция) количеству тепла, отданного во внешнюю среду (теплоотдача). Выработка тепла Q (явного Q_y и скрытого Q_c) в организме связана с непрерывно совершающимся биохимическим синтезом белков и других органических соединений, механической работой мышц (сердечная мышца, гладкие мышцы различных органов, скелетная мускулатура) и др. При выполнении физической работы, при выраженном охлаждении организма (дрожь) значительно увеличивается доля образования тепла в скелетных мышцах. Часть энергии, образующейся в организме при выполнении физической работы, расходуется на внешнюю работу, основная же ее часть переходит в тепловую. В тех случаях, когда вырабатываемая в организме человека энергия не расходуется на внешнюю механическую работу, она вся практически превращается в тепловую. Это имеет место, например, у человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя (лежа, сидя, стоя) и выполняющего некоторые виды физической работы (например, ходьба по ровной местности).

Известно, что отдача тепла происходит только от тела с более высокой температурой к телу с менее высокой температурой. Интенсивность теплоотдачи зависит от разности температур тел (в рассматриваемых условиях – это температура тела человека и температура окружающей его среды) и теплоизолирующих свойств одежды. Теплоотдача человеком осуществляется:

- **конвекцией** – отдача явного (ощутимого) тепла с поверхности тела или одежды движущемуся вокруг него воздуху; по отношению к общей теплоотдаче составляет 20–30%, но при выполнении работы на открытых производственных площадках и наличии ветра теплоотдача конвекцией существенно возрастает;

- **излучением** – отдача явного тепла в направлении поверхностей с более низкой температурой; при обычных условиях составляет 43,8–59,1% по отношению к общей величине теплоотдачи. При наличии в помещении ограждений с температурой более низкой, чем температура воздуха, удельный вес теплоотдачи человека излучением возрастает и может достигать 71%. Этот способ охлаждения и нагревания оказывает более глубокое действие на организм, чем конвекционный;

- **испарением влаги** – один из важных способов отдачи скрытого (влажного) тепла, особенно при высокой температуре воздуха и выполнении физической работы. В условиях теплового комфорта и охлаждения человек, находящийся в состоянии относительного физического покоя, теряет влагу путем переноса с поверхности кожи и верхних дыхательных путей; в окружающую среду отдается 23–27% общего тепла, при этом 1/3 потерь приходится на испарение с поверхности верхних дыхательных путей и 2/3 – с поверхности кожи;

- **кондукцией** – отдача явного тепла от поверхности тела человека к соприкасающимся с ним предметам. В обычных условиях удельный вес теплоотдачи кондукцией невелик, так как коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха составляет незначительную величину, человек теряет тепло лишь с поверхности подошв, площадь которых занимает 3% площади поверхности тела. Помимо размера контактирующей поверхности имеет значение и конкретный подвергающийся охлаждению участок тела (стопы, область поясницы, плеч и т.д.).

Если в какой-либо период процессы теплопродукции и теплоотдачи разбалансированы, то в организме происходит накопление или дефицит тепла. Совокупность физиологических процессов, направленных на поддержание температуры тела человека в узких опреде-

ленных границах, несмотря на значительные колебания температуры окружающей его среды и собственной теплопродукции, называют *терморегуляцией*.

Сложный процесс терморегуляции в производственных условиях характеризуется многообразными изменениями и взаимодействием физиологических функций организма.

По степени влияния на тепловой баланс человека микроклимат подразделяют:

- **на нейтральный** – такое сочетание его составляющих, которое при воздействии на человека в течение рабочей смены обеспечивает тепловой баланс организма, разность между величиной теплопродукции и суммарной теплоотдачей составляет ± 2 Вт, доля теплоотдачи испарением влаги не превышает 30%;

- **охлаждающий** – сочетание параметров, при котором имеет место превышение суммарной теплоотдачи в окружающую среду над величиной теплопродукции организма, приводящее к образованию общего и/или локального дефицита тепла в теле человека (более 2 Вт). При низких температурах окружающего воздуха кровеносные сосуды сужаются, скорость протекания крови замедляется, отдача явного тепла увеличивается, а скрытого – уменьшается. При пониженных температурах и скорости движения воздуха может происходить переохлаждение тела, что приводит к изменению степени активности, нарушает координацию и способность выполнять точные операции; вызывает тормозные процессы в коре головного мозга, способствует развитию профессиональному заболеванию сосудов конечностей – *тромбангииту*, характеризующемуся сужением просвета сосудов, нарушением кровообращения и др.;

- **нагревающий** – сочетание его параметров, при котором имеет место изменение теплообмена человека с окружающей средой, проявляющееся в накоплении тепла в организме (более 2 Вт) и/или в увеличении доли потерь тепла испарением влаги (более 30%). При высокой температуре воздуха кровеносные сосуды поверхности тела расширяются; при этом происходит перемещение крови в организме к поверхности кожи. Вследствие такого перераспределения крови скрытая теплоотдача с поверхности тела значительно увеличивается. Нарушение теплового баланса вызывает заболевание, называемое **тепловой гипотермией, или перегревом**. Для организма человека опасно излучение лучистой энергии, поскольку оно легко поглощается и проникает в ткани, вызывая повышение температуры тела и

внутренних органов, обильное потоотделение, учащение пульса и дыхания, слабость, головокружение, изменение зрительных ощущений и зачастую потерю сознания.

На терморегуляцию организма большое влияние оказывает влажность воздуха. Повышенная относительная влажность воздуха в помещении затрудняет терморегуляцию организма, так как отдача скрытого тепла путем испарения пота с поверхности кожи будет затруднена.

Количество тепла явного $Q_{\text{я}}$ и скрытого $Q_{\text{с}}$, которое может быть отдано человеком окружающей среде, зависит преимущественно от периода года (холодный, теплый, переходный), категории работ по уровню энерготрат и характера выполняемых работ.

Холодным (зимним) периодом считается период между датами наступления устойчивой нулевой среднесуточной температуры осенью и весной.

Теплый период года – период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха $> +10^{\circ}\text{C}$.

Переходный период года – период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха $+10^{\circ}\text{C}$.

Разграничение работ по категориям осуществляют на основе интенсивности общих энерготрат организма в ккал/ч (Вт).

К категории Ia относят работы с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

Категория Ib включает работы с интенсивностью энерготрат 121–150 ккал/ч (140–174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

К категории IIa относят работы с интенсивностью энерготрат 151–200 ккал/ч (175–232 Вт), связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

Категория IIб включает работы с интенсивностью энерготрат 201–250 ккал/ч (233–290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

К категории III относят работы с интенсивностью энерготрат более 250 ккал/ч (более 290 Вт), связанные с постоянными передвижениями, перемещением, переноской значительных тяжестей (свыше 10 кг) и требующие больших физических усилий.

Показателями теплового состояния человека являются температура тела и кожи, теплоощущения, теплосодержание в организме и его изменение, частота сердечных сокращений, минутный объем кровотока, пульсовое давление, частота дыхания, энергообмен, водно-солевой обмен, умственная и физическая работоспособность и др.

Тепловое состояние человека подразделяют:

- на оптимальное (комфортное) – характеризуется отсутствием дискомфортных теплоощущений, минимальным напряжением механизмов терморегуляции; является предпосылкой длительного сохранения высокой работоспособности;

- допустимое – характеризуется незначительными дискомфортными теплоощущениями, умеренным напряжением механизмов терморегуляции. При этом может иметь место временное (в течение рабочей смены) снижение работоспособности, но состояние здоровья не нарушается;

- предельно допустимое – характеризуется выраженными дискомфортными теплоощущениями (например, работнику прохладно), значительным напряжением механизмов терморегуляции и ограничением работоспособности;

- недопустимое (например, человеку холодно), характеризующееся чрезмерным напряжением механизмов терморегуляции.

Показатель комфортности микроклимата рабочей зоны S в баллах рассчитывают по формуле

$$S = 7,83 - 0,1 \cdot t - 0,0968 \cdot t_0 - 0,0372 \cdot P_{II} + 0,18 \cdot v (37,8 - t),$$

где t – температура воздуха, °С; t_0 – температура окружающих поверхностей, °С; P_{II} – парциальное давление водяного пара в насыщенном состоянии, МПа (табл. 5.1); v – скорость движения воздуха, м/с.

Таблица 5.1

**Параметры состояния насыщенного влажного воздуха
при $P = 100$ кПа полного давления**

Температура воздуха t , °С	Давление насыщения $P_{НАС}$, Па	Влагосодержание d , г/кг	Энтальпия, кДж/кг
1	2	3	4
-20	102,9	0,641	-18,534
-18	124,6	0,776	-16,187
-16	150,3	0,936	-13,778

Продолжение табл. 5.1

1	2	3	4
-14	180,8	1,127	-11,290
-12	216,9	1,352	-8,717
-10	259,5	1,618	-6,041
-9	283,3	1,767	-4,663
-8	309,5	1,931	-3,247
-7	337,6	2,107	-1,799
-6	368,1	2,298	-0,315
-5	401,1	2,505	1,211
-4	436,8	2,729	2,780
-3	475,4	2,971	4,393
-2	517,2	3,233	6,059
-1	562,1	3,516	7,778
0	610,8	3,822	9,555
1	656,5	4,110	11,289
2	705,4	4,419	13,074
3	757,4	4,747	14,910
4	812,9	5,098	16,804
5	871,8	5,470	18,755
6	934,6	5,686	20,769
7	1001,3	6,290	22,8484
8	1072,1	6,741	24,998
9	1147,3	7,219	27,219
10	1224,797	7,727	29,519
11	1309,252	8,267	31,900
12	1398,894	8,841	34,368
13	1493,723	9,450	36,929
14	1594,271	10,097	39,587
15	1700,804	10,783	42,344
16	1813,332	11,511	45,212
17	1932,490	12,280	48,168
18	2058,441	13,096	51,281
19	2191,441	13,966	54,493
20	2331,889	14,884	57,882
21	2480,45	15,850	61,369
22	2636,991	16,879	65,019
23	2802,044	17,970	68,831
24	2976,141	19,188	72,791
25	3159,548	20,336	76,937
26	3352,797	21,626	81,266
27	3556,87	22,987	85,785

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4
28	3770,417	23,422	90,496
29	3995,719	25,944	95,434
30	4232,592	27,520	100,517
32	4481,435	31,073	111,729
34	5318,0	34,936	123,758
36	5940,0	39,280	137,053
38	6624,0	44,124	151,670
40	7375,0	49,518	167,732

Если показатель комфортности микроклимата S составляет один балл, то теплоощущения оценивают как «холодно», два балла – «прохладно», три балла – «нормально», четыре балла – «тепло», пять баллов – «жарко».

Гигиенические требования к микроклимату регламентирует СанПиН 2.2.4.548-96, которым установлены допустимые параметры для производственных помещений (табл. 5.2), а также общественных и административных зданий (табл. 5.3) в зависимости от времени года (холодное, теплое) и категории работ по уровню энергозатрат.

В производственных помещениях или при производстве работ на открытых площадках, в которых допустимые параметры микроклимата невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу, условия микроклимата рассматривают как вредные и опасные и предусматривают защитные мероприятия от их неблагоприятного воздействия (перегревания или переохлаждения).

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата используют следующие защитные мероприятия:

- автоматизация, механизация производственных процессов и дистанционное управление;
- отопление, вентиляция, системы кондиционирования воздуха;
- помещения для обогрева (при производстве работ на открытых площадках), регулирование режимов труда и отдыха (табл. 5. 4);
- увеличение продолжительности отпуска;
- спецодежда, спецобувь, другие средства индивидуальной защиты для различных климатических регионов (поясов).

**Допустимые величины показателей микроклимата
на рабочих местах производственных помещений**

Период года	Категория работ по тяжести	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных значений	диапазон выше оптимальных значений			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Иа	20,0–21,9	24,1–25,0	19,0–26,0	15–75	0,1	0,1
	Иб	19,0–20,9	23,1–24,0	18,0–25,0	15–75	0,1	0,2
	IIа	17,0–18,9	21,1–23,0	16,0–24,0	15–75	0,1	0,3
	IIб	15,0–16,9	19,1–22,0	14,0–23,0	15–75	0,2	0,4
	III	13,0–15,9	18,1–21,0	18,1–21,0	15–75	0,2	0,4
Теплый	Иа	21,0–22,9	25,1–28,0	20,0–29,0	15–75	0,1	0,2
	Иб	20,0–21,9	24,1–28,0	19,0–29,0	15–75	0,1	0,3
	IIа	18,0–19,9	22,1–27,0	17,0–28,0	15–75	0,1	0,4
	IIб	16,0–18,9	21,1–27,0	15,0–28,0	15–75	0,2	0,5
	III	15,0–17,9	20,1–26,0	14,0–27,0	15–75	0,2	0,5

Таблица 5.3

**Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности
и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных и административных зданий**

Период года	Наименование помещения или категория	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая, не более
Холодный	1	20–22	18–24	19–20	17–23	45–30	60	0,2	0,3
	2	19–21	18–23	18–20	17–22	45–30	60	0,2	0,3
	3а	20–21	19–23	19–20	19–22	45–30	60	0,2	0,3
	3б	14–16	12–17	13–15	13–16	45–30	60	0,3	0,5
	3в	18–20	16–22	17–20	15–21	45–30	60	0,2	0,3
	4	17–19	15–21	16–18	14–20	45–30	60	0,2	0,3
	5	20–22	20–24	19–21	19–23	45–30	60	0,15	0,2
	6	16–18	14–20	15–17	13–19	–	–	–	–
	Ванные, душевые	24–26	18–28	23–25	17–27	–	–	0,15	0,2
Теплый	Помещения с постоянным пребыванием людей	23–25	18–28	22–24	19–27	60–30	65	0,15	0,25

Примечание. Помещения 1-й категории: помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха; 2-й категории: помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебой; помещения 3а категории: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды; помещения 3б категории: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде; помещения 3в категории: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды; помещения 4-й категории: помещения для занятий подвижными видами спорта; 5-й категории: помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т. п.); 6-й категории: помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые); – означает, что параметры микроклимата не нормируются.

Время на отдых в зависимости от температуры воздуха в рабочей зоне

Температура воздуха, °С	Время на отдых за смену	
	мин	% от оперативного времени
25–28	4	1
29–31	8	2
32–35	11	3
36–40	15	4

Примечание. Оперативное время – длительность всех операций в смене, исключая отдых.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

По устройству лабораторный стенд (рис. 5.1) соответствует требованиям ГОСТ 12.4.003-82 «Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности» и состоит из бытового электрокамина 1, модели производственного помещения 2 с вентиляционным зонтом 3, боковой стенки 4, четырех исследуемых экранов 5, стойки 6 гигрометра, термоанемометра, измерителя плотности тепловых потоков 7, и удлинителя.

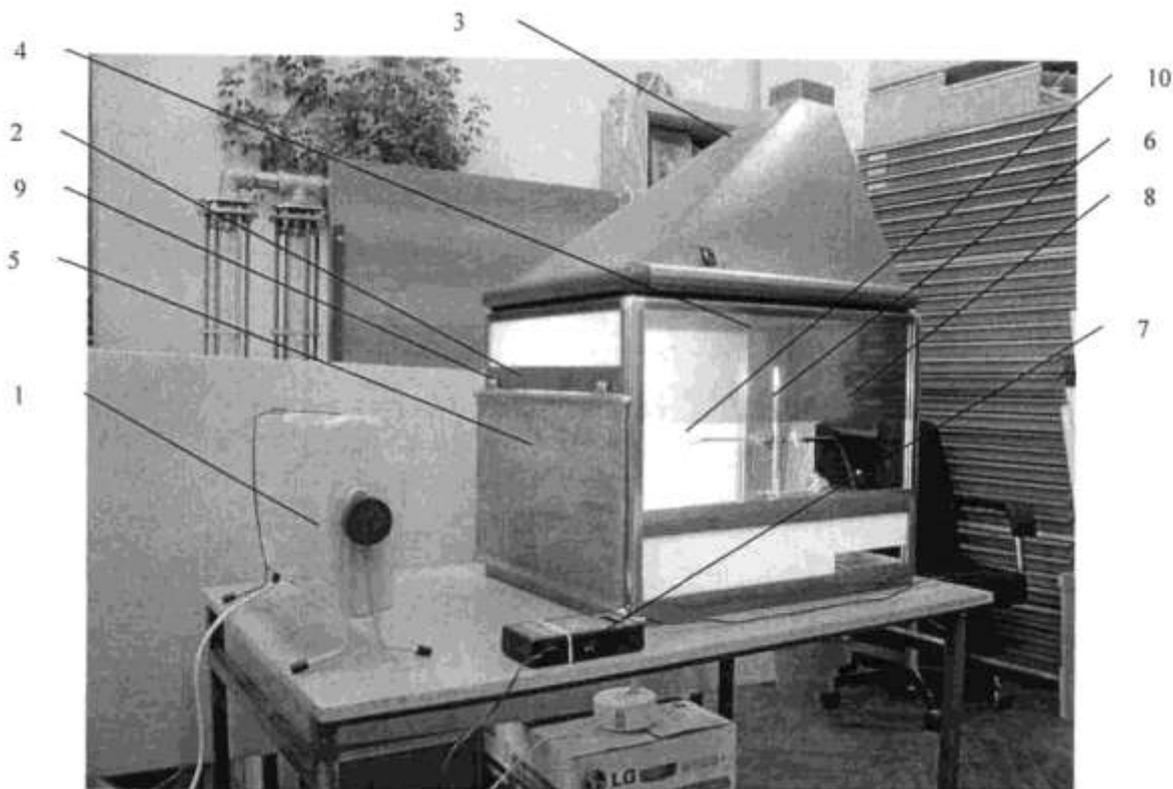


Рис. 5.1. Лабораторный стенд

Боковая стенка 4 модели – съемная, а передняя и задняя стенки 8 – глухие. На боковой поверхности модели помещения закреплены крючки 9, на которые устанавливаются сменные экраны 5. В стойке 6 могут быть закреплены измерительная головка 10 измерителя тепловых потоков 7 или термоанемометр.

Бытовой электрокамин 2 используется в качестве источника теплового излучения, вентиляционный зонт 3 – для создания вытяжной вентиляции и устанавливается сверху на модель производственного помещения 2. Внутри вентиляционного зонта установлена лампа накаливания, которая служит для освещения модели производственного помещения, а также в качестве дополнительного источника тепла, для изменения теплового режима внутри модели.

Измерительная головка 10 с помощью винтов крепится к вертикальной стойке 6. Вся эта конструкция может вручную перемещаться по столешнице для изменения расстояния между источником теплового излучения и измерительной головкой.

Для измерения расстояния от источника теплового излучения 1 (электрокамина) до измерительной головки 10 используется стандартная металлическая линейка.

Сменные экраны 5 имеют один типоразмер и выполнены из металла с темной и светлой окраской, брезента и набора параллельных цепей.

На задней стенке модели помещения установлен гигрометр для измерения влажности воздуха внутри модели. Для измерения скорости движения воздуха используется малогабаритный термоанемометр, закрепляемый в стойке 6.

На столешнице размещен удлинитель для подключения к сети переменного тока электрокамина 1 и вентиляционного зонта 3.

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

- к работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда, принципом действия и мерами безопасности при проведении лабораторной работы;

- не рекомендуется включать электрокамин на полную мощность 1 кВт (задействован один нагревательный элемент, второй – отключен);

- запрещается прикасаться к электронагревательному элементу электрокамина;

- не допускается работа с любым экраном более 7 мин;

- после проведения лабораторной работы необходимо отключить электропитание стенда.

Для исследования «вытяжной вентиляции» (количество уносимого вентилятором тепла):

- установите любой металлический экран и съемную боковую стенку. Закрепите термоанемометр так чтобы измерительная головка находилась на расстоянии 250 мм от стойки. Стойку с термоанемометром расположите за моделью производственного помещения, а измерительную головку – внутри (через отверстие в боковой стенке). Стойку необходимо максимально приблизить к модели. Включите осветительную лампу внутри зонта, которая в данном случае будет использоваться в качестве источника тепла. В течение 10 мин замерьте изменения температуры. Включите вентилятор зонта и в течение 10 мин снова повторите измерения. По результатам измерений определите эффективность «вытяжной вентиляции». Параллельно с этим с помощью гигрометра замерьте влажность внутри модели помещения;

- замерьте скорость движения воздуха при включенном вентиляторе зонта при двух значениях скорости вращения двигателя вентилятора.

Результаты измерений параметров микроклимата сопоставьте с нормативными требованиями (табл. 5.2–5.3), на этой основе дайте оценку параметров микроклимата, заполните таблицу, при необходимости разработайте рекомендации и мероприятия по обеспечению нормируемых параметров микроклимата.

Анализ результатов измерений параметров микроклимата для производства работ категории тяжести _____

Период года	Параметр микроклимата	Измеренные значения	Нормативные значения		Соответствие нормам
			оптимальные	допустимые	
	Температура, °С				
	Относительная влажность, %				
	Скорость движения воздуха, м/с				
	Атмосферное давление, Па				

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое терморегуляция?
2. Перечислите параметры микроклимата.
3. Назовите приборы для определения параметров микроклимата в воздухе рабочей зоны и расскажите о принципах их работы.
4. Перечислите методы и средства нормализации параметров микроклимата в рабочей зоне.
5. Определите показатель комфортности микроклимата при следующих исходных данных:
 - относительная влажность воздуха – 60%;
 - температура воздуха – 24°C;
 - температура окружающих поверхностей – 24°C;
 - скорость движения воздуха – 0,2 м/с.

Лабораторная работа № 6 «Исследование эффективности теплозащитных экранов»

1. Краткие теоретические сведения

По физической природе инфракрасное излучение (ИК-излучение) представляет собой поток материальных частиц, обладающих волновыми и квантовыми свойствами, охватывая область спектра с длиной волны от 760 нм до 540 мкм.

Источники ИК-излучения в зависимости от температуры поверхности разделяют на четыре группы (табл. 6.1):

- первая – с температурой поверхности до 500°С;
- вторая – с температурой поверхности 500–1300°С;
- третья – с температурой поверхности 1300–1800°С;
- четвертая – с температурой поверхности 1800–4000°С.

Таблица 6.1

Инфракрасное излучение от технологических процессов и оборудования

Источник излучения	Температура поверхности, °С	Длина волны, нм	Спектр излучения
Наружные поверхности печей, паропроводы, остывающий металл и др.	До 500	3700–9300	Длинноволновое инфракрасное
Внутренние поверхности печей, горнов, дымоходов, нагретые слитки, заготовки	500–1300	1900–3700	Длинноволновое инфракрасное, слабо видимое
Расплавленный металл, пламя, разогретые электроды	1300–1800	1200–1900	Инфракрасное, видимое, высокой яркости
Дуговые печи, сварочная дуга	1800–4000	800–1200	Коротковолновое инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое

Теплота может распространяться тремя способами: на основе теплопроводности, теплоизлучения и конвекции.

Теплопроводность достигается внутри одного тела между двумя соприкасающимися телами; она объясняется наличием прилегающих друг к другу частиц вещества в форме колебаний молекул тепловую энергию от частицы к частице.

Теплоизлучение возможно между двумя телами, не соприкасающимися друг с другом и не имеющими контакта через некий промежуточный материал. Например, солнечные лучи согревают Землю, хотя отделены от нее космосом.

Конвекция достигается между двумя телами с опосредованным контактом, играющим роль проводника тепла. Например, распространение тепла по воздуху от радиатора отопления. Это происходит благодаря циркулирующим молекулам воздуха, которые, нагреваясь в зоне радиатора, распределяются по всей комнате, отдавая свое тепло.

Каждое излучающее тело создает в пространстве поле излучения. Поля излучений от нескольких тел, распространяясь в окружающей среде, нагревают пол, стены, перекрытия, оборудование, накладываются одно на другое, создавая некоторую определенную для каждой точки среды терморadiационную напряженность, характеризующую значением интенсивности теплового облучения q в данной точке.

При скорости движения воздуха, не превышающей 1 м/с, и интенсивности теплового облучения до 1200 Вт/м^2 используют интегральный показатель тепловой нагрузки (ТНС), рассчитываемый на основе величин температуры смоченного термометра аспирационного психрометра $t_{\text{ВЛ}}$ и шарового термометра $t_{\text{Ш}}$,

$$\text{ТНС} = 0,7 \cdot t_{\text{ВЛ}} + 0,3 \cdot t_{\text{Ш}}.$$

Интенсивность теплового облучения и интегральный показатель тепловой нагрузки используют при оценке класса и подкласса условий труда работника.

Воздействие ИК-излучения на организм человека может быть общим и локальным. Основная реакция на инфракрасное облучение – изменение температуры облучаемых и удаленных участков тела. Эффект теплового действия зависит от спектра излучения (табл. 6.1), который обуславливает глубину их проникновения в организм, облученности, длительности облучения, угла падения лучей. ИК-излучения подразделяют на три области:

- А – с длиной волны от 0,76 до 1,4 мкм;
- Б – от 1,4 до 3,0 мкм;
- С – более 3,0 мкм.

Излучение в области А обладает большой проникающей способностью через кожные покровы, поглощается кровью и подкожной жировой клетчаткой. В областях Б и С излучение поглощается большей частью в эпидермисе (наружном слое кожи). Действие ИК-излучения при поглощении их в различных слоях кожи сводится к нагреванию ее, что обуславливает переполнение кровеносных сосудов кровью и усиление обмена веществ.

Результатом действия интенсивного ИК-излучения на кожу век является обычный ожог, основными симптомами которого служат *эритема* (от греч. *erythema* – краснота) и образование пузырей. Повторное облучение в дозах ниже ожоговых может привести к хроническому воспалению век.

При воздействии ИК-излучения изменяется морфологический состав крови – уменьшается число лейкоцитов и тромбоцитов, происходит поляризация кожи человека. ИК-излучение влияет на функциональное состояние центральной нервной системы, приводит к изменениям в сердечно-сосудистой системе. При длительном пребывании человека в зоне ИК-излучения происходит резкое изменение теплового баланса в организме. Нарушается терморегуляция организма, усиливается деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, увеличивается потоотделение, происходят потери нужных организму солей. Обеднение организма водой вызывает сгущение крови, ухудшение питания тканей и органов. Потеря организмом солей лишает кровь способности удерживать воду, приводит к быстрому выведению из организма вновь выпитой жидкости.

Нарушение водно-солевого баланса вызывает так называемую *судорожную болезнь*, характеризующуюся появлением резких судорог, преимущественно в конечностях.

Нарушение теплового баланса вызывает повышение температуры тела, обильное потоотделение, учащение пульса, дыхания, слабость, головокружение, изменение зрительных ощущений и зачастую потерю сознания. При систематических перегревах отмечается повышенная восприимчивость к простудным заболеваниям. Наблюдается снижение внимания (нарастание ошибочных операций), наступает чувство расслабленности, резко повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Интенсивное облучение длинноволновыми ИФ-лучами оказывает тепловое действие на роговицу глаза, а облучение в более коротко-

волновом (инфракрасном) диапазоне – на внутренние структуры глаза, например, на радужную оболочку, хрусталик, а также отражается на сетчатке. Хроническое поражение хрусталика глаза приводит к *катаракте* (от греч. *katarrhakties* – *водонад*), клиническим проявлением которой является его помутнение.

2. Порядок проведения лабораторной работы

Цель лабораторной работы: ознакомиться с методами измерения плотности потока теплового излучения от нагретых поверхностей, а также оценить эффективность защитных экранов:

$$\mathcal{E} = (q - q_3) 100/Q, \%$$

где q – плотность теплового потока без применения защитных экранов; q_3 – плотность теплового потока при использовании защитных экранов.

Плотность теплового потока рассчитывают по формуле

$$q = 0,78 \cdot S (T^4 \cdot 10^{-8} - 110)/r^2, \text{ Вт/м}^2,$$

где S – площадь излучающей поверхности, м^2 ; T – температура излучающей поверхности, К ; r – расстояние от источника излучения, м .

Работа выполняется на лабораторном стенде (рис. 6.1), представляющем лабораторный стол 1, на котором размещаются:

- бытовой электрокамин 2, являющийся источником теплового излучения;
- индикаторный блок 3;
- металлическая миллиметровая линейка 4, предназначенная для измерения расстояния от источника теплового излучения (электрокамина 2) до измерительной головки 7 измерителя плотности тепловых потоков;
- стойка 5, которая служит для установки сменных защитных экранов 6, она может перемещаться по столешнице вдоль линейки 4;
- стойка 9 – для установки измерительной головки 7;
- воздушная помпа 8 – источник для создания воздушной завесы, устанавливается на стойке 12 с помощью хомута 13;
- стеклянный экран 6, душ 10, емкость с водой 11 и водяная помпа 14, которые служат для создания водяной завесы;

- удлинитель *18* используется для подключения к сети переменного тока электрокамина *2*, воздушной помпы *8*, измерителя плотности тепловых потоков и водяной помпы *14*.

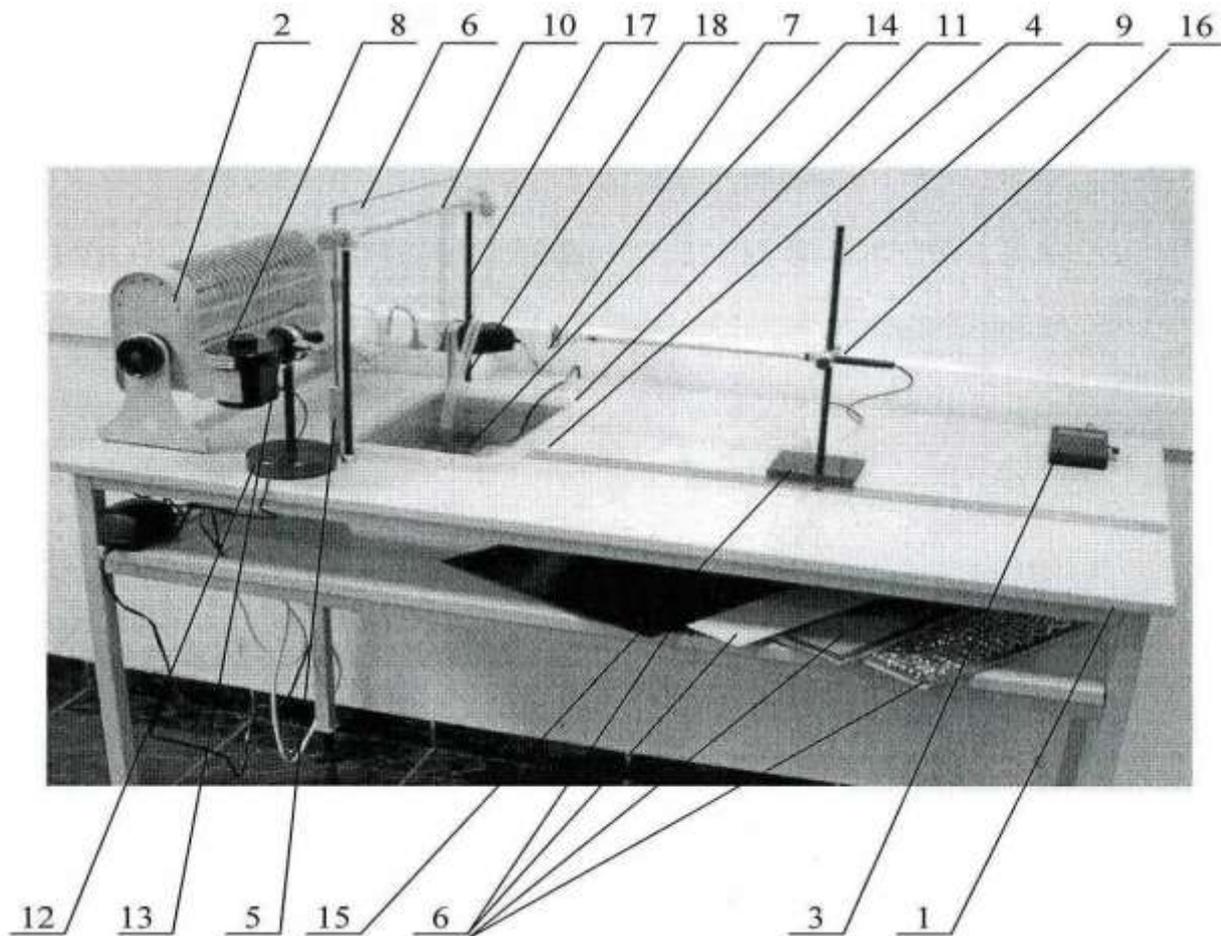


Рис. 6.1. Лабораторный стенд для исследования эффективности теплозащитных экранов

В качестве защитных используются экраны:

- металлический темный;
- металлический светлый;
- брезентовый;
- с цепями;
- стеклянный;
- стеклянный с водяной завесой.

Цепная завеса представляет собой цепи, подвешенные в три ряда на пути излучения. Поворотные кронштейны, на которых висят цепи, дают возможность устанавливать один, два или три ряда цепей.

Для создания водяной завесы в установке имеется ванночка с водосливом – отполированная отбортовка внутренней продольной стороны ванночки. Ниже нагревательного элемента под водосливом помещен резервуар для стекающей воды. Подвод воды из резервуара к ванночке осуществляется насосом с электрическим приводом. Для регулирования производительности насоса на нагревательной магистрали установлен кран 2. По бокам водослива подвешены резиновые отвесы, которые служат направляющими для водяной завесы. Толщину поглощающей водяной завесы регулируют краном 2.

Интенсивность облучения может быть измерена термоэлектрическим актинометром. Действие актинометра основано на различной поглотительной способности зачерненных и блестящих полосок алюминиевой пластинки. Из-за различия в температуре зачерненных участков алюминиевой пластинки и расположенных под ними спаев термобатареи в последней возникает электрический ток. Величина тока измеряется гальванометром.

В лабораторном стенде интенсивность теплового облучения регистрируется датчиками, установленными на выдвинжных штангах 3. Каждый датчик содержит блестящую и зачерненную пластинки, под которыми установлены спаи хромель-алюминиевой дифференциальной термопары. Величину термоЭДС измеряют высокочувствительным световым гальванометром 4, шкала которого отградуирована в Вт/м². С помощью тумблера 5 подключают к гальванометру 4 левый и правый датчик. Вылет штанги может изменяться от 0 до 500 мм, для чего в штангах имеются отметки.

По устройству лабораторная установка соответствует требованиям ГОСТ 12.4.113 ССБТ. Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности.

К работе с лабораторным стендом допускаются студенты, ознакомленные с его устройством и принципом действия.

Необходимо соблюдать следующие меры безопасности:

- не использовать воздушную помпу более 30 мин;
- не работать с металлическим экраном более 5 мин;
- при смене экранов надевать теплоизоляционные перчатки;
- не включать водяную завесу на разогретый экран из стекла.

Результаты исследования эффективности защитных экранов от теплового облучения

Температура $t_{и}, ^\circ\text{C}$	Расстояние от датчика до источника $\ell, \text{мм}$	Интенсивность теплового облучения, Вт/м^2						Допустимая интенсивность теплового облучения, Вт/м^2	
		при отсутствии экранов		при цепной завесе	эффективность защиты цепной завесой $\eta_{ц}$	при водяной завесе			эффективность защиты водяной завесой $\eta_{в}$
		расчет	эксперимент			расчет	эксперимент		
1000	500								
	400								
	300								
	200								
	100								
	0								

В связи с тем, что электропитание установки производится от сети переменного тока, при выполнении работы необходимо соблюдать следующее:

- во избежание ожогов не прикасаться к источнику излучения;
- обо всех нарушениях в работе стенда немедленно сообщать преподавателю;
- по окончании работы выключить стенд, привести в порядок рабочее место, а сменные экраны положить на полку стола.

Лабораторную работу необходимо выполнять последовательно с различными защитными экранами:

1) подключить удлинитель к сети переменного тока, электрокамин, воздушную помпу, измеритель плотности теплового потока к розеткам удлинителя;

2) водяную помпу подключить к розетке удлинителя непосредственно перед включением водяной завесы, так как водяная помпа не имеет собственного выключателя;

3) установить головку измерителя на расстоянии 100 мм от источника излучения и определить плотность теплового потока (среднее значение 3–4 замеров);

4) вручную переместить штатив вдоль линейки, установив головку измерителя на расстояниях от источника излучения, указанных в таблице 6.2, повторить измерения, занести данные в таблицу;

5) повторить измерения с разными защитными экранами и занести данные в таблицу;

6) построить график зависимости плотности теплового потока от расстояния до источника излучения;

7) провести оценку эффективности защитных экранов;

8) выключить стенд, привести в порядок рабочее место, а сменные экраны положить на полку стола.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие факторы учитывают при классификации источников ИК-излучения?

2. Расскажите о действии ИК-излучения на человека.

3. Что такое интенсивность теплового облучения, от каких факторов она зависит?

4. Что такое ТНС-индекс?

5. Что такое эффективность теплозащитного экрана?

Лабораторная работа № 7 **«Исследование производственной вибрации»**

1. Краткие теоретические сведения

Вибрация – движение точек или механической системы, при котором происходит то поочередное возрастание, то убывание во времени значений, по крайней мере, одной координаты движения.

Источниками, вызывающими вибрацию в окружающей среде, могут быть твердые, жидкие и газообразные тела или их совокупности, например, работающие машины, движущиеся транспортные средства, взрывы, волны, ветровые нагрузки.

Основные причины возникновения вибрации:

- неуравновешенные силовые воздействия, возникающие при работе машин и механизмов;
- несбалансированность вращающихся частей оборудования;
- сверхдопустимые зазоры в сочленениях;
- неравномерный износ узлов машин;
- неправильная центровка осей механизмов при передаче вращения соединительной муфты;
- ослабление крепления оборудования на фундаменте или его неустойчивость;
- применение масел, не отвечающих условиям работы оборудования;
- неудовлетворительное состояние подшипников и др.

Вибрацию классифицируют по следующим признакам:

- способ ее передачи от источника к объекту защиты (например, к рабочему месту);
- направление действия вибрации;
- временная характеристика (постоянная, непостоянная);
- источник возникновения и др.

В зависимости от способа передачи на человека различают общую и локальную вибрации.

Общая вибрация передается через опорные поверхности I на тело сидящего или стоящего человека (рис. 7.1, *a*). Обычно при оценке воздействия вибрации на человека координатную систему связывают с его опорно-двигательным аппаратом в нормальном анатомическом положении по следующим направлениям осей:

- ось X – от спины к груди;
- ось Y – от правого бока к левому;

- ось Z – от ног (или ягодиц) к голове.

Локальная вибрация передается через руки, например, при управлении транспортным средством, заготовительно-штамповочных и сборочных работах. Ее источниками являются одноударные или редкоударные ручные машины, оборудование и немеханизированные ручные инструменты (слесарные и медницкие молотки, зубила и т. п.), используемые при ковке, штамповке, рихтовке, правке, выколотке, доводке и других операциях.

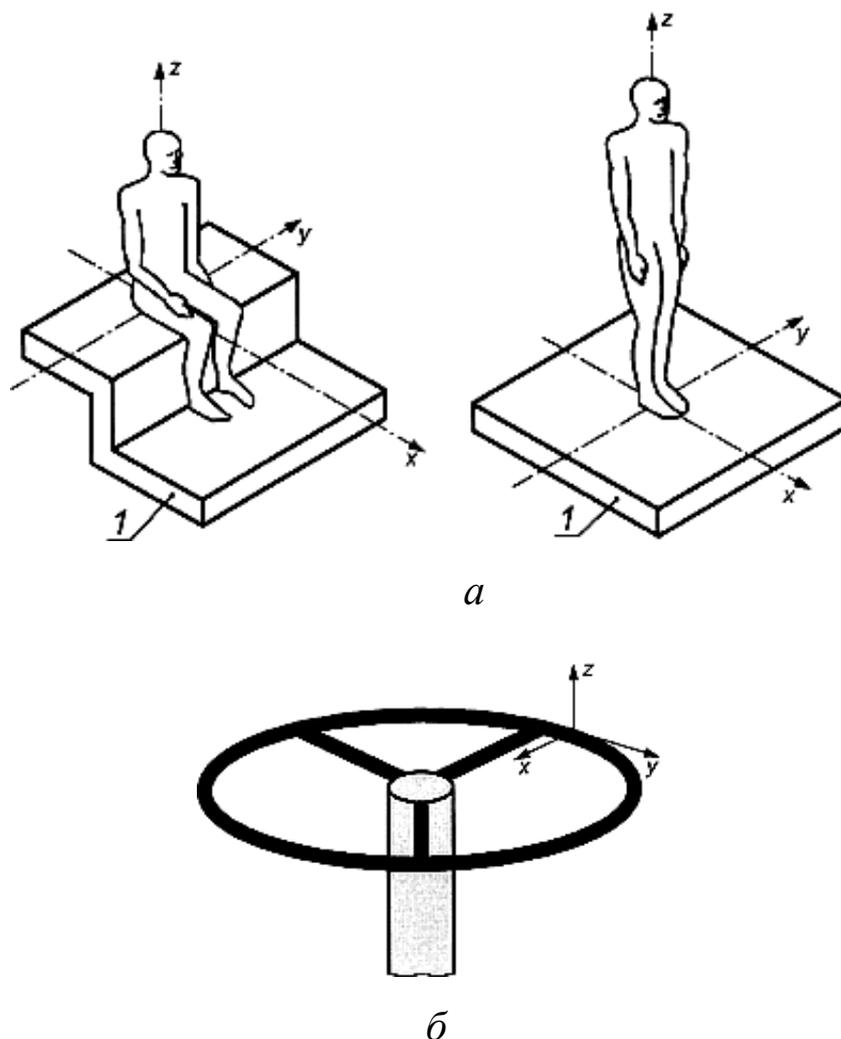


Рис. 7.1. Направления координатных осей при передаче:
a – общей вибрации через опорные поверхности 1 на тело сидящего или стоящего человека; *б* – локальной вибрации через рулевое колесо

По направлению действия локальную вибрацию подразделяют в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат:

- ось X совпадает или параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, ложементы, рулевого колеса, рычага управления, обрабатываемого изделия, удерживаемого в руках);

- ось Z лежит в плоскости, образованной осью X и направлением подачи или приложения силы, и направлена вдоль оси предплечья;
- ось Y направлена от ладони.

В качестве примера на рисунке 7.1, б показаны направления координатных осей при локальной вибрации от рулевого колеса.

Вибрация, воздействующая на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих органов машин, может быть отнесена к локальной вибрации.

По временной характеристике различают:

- постоянную вибрацию, для которой контролируемый параметр на время наблюдения изменяется не более чем в два раза (на 6 дБ);
- непостоянную вибрацию, для которой эти параметры за время наблюдения изменяются более чем в два раза.

Непостоянную вибрацию подразделяют:

- на колеблющуюся во времени (уровни виброскорости или виброускорения непрерывно меняются во времени);
- прерывистую (контакт оператора с вибрацией в процессе работы прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с);
- импульсную, состоящую из одного или нескольких вибрационных воздействий, каждый длительностью менее 1 с.

По характеру спектра вибрацию подразделяют на узко- и широкополосную. Контролируемые параметры узкополосной вибрации в одной 1/3 октавной полосе частот более чем на 15 дБ превышают значения в соседних 1/3 октавных полосах. Широкополосной считают вибрацию, параметры которой не отвечают указанным требованиям и имеют непрерывный спектр шириной более одной октавы.

Основными параметрами, характеризующими вибрацию, являются частота колебаний f , Гц; амплитуда смещения точек (вибросмещение) A , мм; скорость перемещения точек (виброскорость) V , мм/с; ускорение, с которым идет нарастание и убывание виброскорости (виброускорения) a , мм/с².

По частотному составу (преобладающему максимальному уровню в октавных полосах частот) вибрацию подразделяют на низко-, средне- и высокочастотные.

Их параметры:

- низкочастотные – 8–16 Гц для локальной и 1–4 Гц – для общей вибрации;
- среднечастотные – 31,5–63 Гц для локальной и 8–16 Гц – для общей вибрации;

- высокочастотные – 125–1000 Гц для локальной и 31,5–63 Гц – для общей вибрации.

В практике оценки вибрации используют также и относительные значения виброскорости L_V , виброускорения L_a и вибросмещения в децибелах (дБ) по отношению к их пороговым значениям:

$$L_V = 20 \lg(V/V_0); L_a = 20 \lg(a/a_0); L_A = 20 \lg(A/A_0),$$

где V_0 – пороговое значение виброскорости, $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с; a_0 – пороговое значение виброускорения, $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ мм/с²; A – пороговое значение амплитуды, $A_0 = 8 \cdot 10^{-12}$ м.

Организм человека обладает собственными частотами, которые находятся в диапазоне 6–9 Гц, поэтому колебания рабочих мест в указанном диапазоне наиболее опасны, так как могут вызвать механические повреждения или разрыв органов человека.

Под воздействием вибрации части тела человека перемещаются относительно друг друга с амплитудами в зависимости от источника колебаний и массы органов человека. Относительные перемещения частей тела приводят к напряжению в связках между частями тела, взаимному соударению и надавливанию.

Влияние вибрации на организм зависит от ее спектрального состава, места приложения, продолжительности и направления воздействия, частоты колебаний, амплитуды, виброускорения, индивидуальных особенностей человека, уровня шума, микроклиматических условий на рабочем месте и других сопутствующих факторов (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Влияние вибрации на организм человека

Амплитуда колебаний, мм	Частота вибрации, Гц	Результат воздействия
До 0,015	Различная	Не влияет на организм
0,016–0,050	40–50	Нервное возбуждение с депрессией
0,051–0,100	40–50	Изменение в центральной нервной системе, сердце и органах слуха
0,101–0,300	50–150	Возможно заболевание
0,101–0,300	150–250	Вызывает виброболезнь

При малых амплитудах и больших частотах организм человека более чувствителен к скорости вибрации, а при больших амплитудах и малых частотах – к виброускорению вибрации. Ниже приведены значения виброускорения, дающие приблизительное представление о возможной реакции человека на различные значения полной вибрации в условиях общественного транспорта:

- менее $0,315 \text{ м/с}^2$ – дискомфорт не ощущается;
- от $0,315$ до $0,63 \text{ м/с}^2$ – легкое ощущение дискомфорта;
- от $0,5$ до 1 м/с^2 – приемлемое ощущение дискомфорта;
- от $0,8$ до $1,6 \text{ м/с}^2$ – отчетливое ощущение дискомфорта;
- от $1,25$ до $2,5 \text{ м/с}^2$ – ощущение сильного дискомфорта;
- свыше 2 м/с^2 – крайняя степень дискомфорта.

При воздействии общей вибрации разных параметров имеет место различная степень выраженности изменений в центральной и вегетативной нервной системе, сердечно-сосудистой системе, обменных процессах, вестибулярном аппарате.

Локальная вибрация оказывает влияние как в зоне контакта, так и на пути ее распространения в основном по тканям тела человека. Систематическое воздействие локальной вибрации вызывает спазмы кровеносных сосудов рук, поражает нервные окончания, мышечные и костные ткани, что приводит к снижению чувствительности кожи, ухудшению, а в тяжелых случаях – к прекращению кровоснабжения мышц, окостенению сухожилий, отложению солей в суставах, деформации и потере подвижности суставов.

К факторам, усугубляющим воздействие на человека вибрации, относится шум высокой интенсивности (80–95 дБА), неблагоприятные условия микроклимата, пониженное и повышенное атмосферное давление и др. При работе с пневматическими ручными машинами имеет место охлаждение рук отработанным воздухом и холодным металлом корпуса машины. Особенно сказываются неблагоприятные климатические условия Крайнего Севера, Дальнего Востока и других регионов с преобладающим воздействием низких температур.

Совокупность болезненных изменений в организме, вызванных воздействием вибраций, называют **вибрационной болезнью (вибробольезнью)**. Эти изменения проявляются в виде головных болей, головокружения, пониженной работоспособности, нарушений сердечной деятельности. Вибробольезнь относится к группе профзаболеваний, эффективное лечение которых возможно только на ранних стадиях болезни.

Вероятность развития вибрационной болезни (ВБ) от локальной вибрации можно определить по таблице 7.2.

Таблица 7.2

Вероятность развития вибрационной болезни, %

Эквивалентный корректированный уровень виброскорости, дБ	Продолжительность работы, лет					
	5	10	15	20	25	30
112	0	2	5	9	13	17
118	2	8	15	23	29	36
124	7	18	28	36	44	49
130	25	48	60	68	75	80
136	52	76	88	–	–	–

Если дополнительно к локальной вибрации сопутствующими факторами на рабочем месте являются неудовлетворительные микроклиматические условия, повышенный уровень шума, тяжелый труд, то вероятность развития виброболезни определяют следующим образом. Из таблицы 7.3 по эквивалентному корректированному уровню виброскорости и продолжительности работы находят вероятность заболевания ВБ в процентах. Затем по уровню сопутствующего шума, температуре воздуха в рабочей зоне и категории тяжести труда из таблиц 7.4–7.6 определяют коэффициенты повышения риска виброболезни $K_{ш}$, K_t , K_T , которые перемножают между собой, затем умножают на показатель вероятности развития ВБ. Коэффициенты повышения риска виброболезни для шума $K_{ш}$ и температуры K_t находятся в линейной зависимости от величины изменения фактора, и промежуточные значения легко подсчитывают из следующих выражений:

$$K_{ш} = (L_{экр} - 80) \cdot 0,025 + 1; K_t = (20 - t) \cdot 0,08 + 1.$$

Таблица 7.3

Вероятность развития вибрационной болезни при действии локальной вибрации

Эквивалентный корректированный уровень виброскорости, дБ	Продолжительность работы, лет							
	1	2	3	5	7	10	15	20
Вероятность развития вибрационной болезни, %								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
109	–	–	–	–	–	–	1,0	1,5
111	–	–	–	–	–	–	1,5	2,0
112	–	–	–	–	–	1,0	1,8	2,5
113	–	–	–	–	–	1,2	2,0	3,0

Окончание табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
115	–	–	–	–	1,0	1,5	2,5	3,5
117	–	–	–	–	1,0	1,8	3,0	4,0
119	–	–	–	–	1,1	2,0	3,5	5,0
121	–	–	–	–	1,3	2,5	4,0	6,0
123	–	–	–	1,0	1,5	3,0	5,0	8,0
125	–	–	–	1,2	1,7	3,5	6,0	10,0
127	–	–	–	1,3	1,9	4,0	8,0	12,0
129	–	–	1,0	1,5	2,0	5,0	10,0	15,0

Значения коэффициента повышения риска вибрационной болезни в зависимости от уровня шума

Уровень шума, дБА	80	90	100	110	120
Коэффициент $K_{ш}$	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0

Значения коэффициента повышения риска вибрационной болезни в зависимости от температуры воздуха в рабочей зоне

Температура воздуха в рабочей зоне, °С	+20	+10	0	-10	-20	-30
Коэффициент K_t	1,0	1,8	2,6	3,4	4,2	5,0

Значения коэффициента повышения риска вибрационной болезни в зависимости от категории тяжести труда

Категория тяжести труда	1	2	3.1	3.2	3.3
Коэффициент K_T	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0

Вибрация оказывает неблагоприятное действие и на оборудование: понижает коэффициент полезного действия (КПД) машин и механизмов, вызывает ускоренный износ их деталей. Распространяясь в окружающей среде, вибрация может разрушить строительные конструкции, нарушить технологический процесс, показания контрольно-измерительной аппаратуры и др.

Вибрация может быть причиной:

- «усталости» грунтов, материалов, зданий, сооружений и их несущих конструкций;
- деформации и разрушения зданий и сооружений;
- активизации геоморфологических процессов: лавин, селей, камнепадов, разрушения склонов и др.

Различают гигиеническое и техническое нормирование производственной вибрации. В первом случае производят ограничение параметров вибрации рабочих мест и поверхности контакта с руками работающих исходя из физиологических требований, исключающих возникновение вибрационной болезни. Во втором случае осуществляют ограничение параметров вибрации с учетом не только указанных требований, но и технически достижимого на сегодняшний день для данного вида машин уровня вибрации.

Гигиенические требования при работах с источниками вибрации регламентируют:

- СанПиН 2.2.2.540-96 Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ;
- СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий;
- ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

Нормирование вибрации машин, технологического оборудования, транспортных средств и т.п., действующей на организм человека, служит для обеспечения вибробезопасных условий труда; оно заключается в ограничениях уровней вибрации элементов машин, с которыми соприкасается тело человека (сиденье, платформа, органы управления и др.) в зависимости от категории общей вибрации.

Общую вибрацию подразделяют на три категории (табл. 7.7):

- транспортная (общая вибрация 1-й категории);
- транспортно-технологическая (общая вибрация 2-й категории);
- технологическая (общая вибрация 3-й категории).

Основным методом, характеризующим вибрационное воздействие на руки работающих, является частотный анализ, при котором нормируемыми параметрами являются средние квадратические значения виброскорости V и виброускорения a или их логарифмические уровни L_v , L_a .

Нормируемый диапазон частот устанавливают:

- для общей вибрации (табл. 7.8–7.12) в виде октавных или 1/3 октавных полос со среднегеометрическими частотами 0,8; 1; 1,25;

1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 83,0 Гц;

- локальной вибрации в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц (табл. 7.13).

Таблица 7.7

Виды общей вибрации и машины, ее генерирующие

Вид общей вибрации и ее категория	Машины, генерирующие общую вибрацию
Транспортная (общая вибрация 1-й категории)	Тракторы сельскохозяйственные и промышленные, самоходные машины для обработки почвы, уборки и посева сельскохозяйственных культур (в том числе комбайны) Автомобили грузовые
Транспортно-технологическая (общая вибрация 2-й категории)	Экскаваторы (в том числе роторные) Путевые машины, бетоноукладчики Напольный производственный транспорт
Технологическая (общая вибрация 3-й категории)	Станки металло- и деревообрабатывающие Кузнечно-прессовое оборудование Электрические машины Насосные агрегаты и вентиляторы Машины для животноводства, очистки и сортировки зерна

Превышение допустимых уровней вибрации указывает на класс опасности условий труда.

При использовании виброопасных ручных инструментов работы следует производить в соответствии с разработанными режимами труда, согласно которым суммарное время контакта с вибрацией в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от величины превышения санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий (табл. 7.14).

Режимы труда следует разрабатывать в соответствии с методикой, указанной в приложении 2 СанПиН 2.2.2.540-96 Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ (табл. 7.15).

Регламентированные перерывы продолжительностью 20–30 мин, являющиеся составной частью режимов труда, устраиваются через 1–2 ч после начала смены и через 2 ч – после обеденного перерыва (продолжительность которого должна быть не менее 40 мин) и ис-

пользуются для активного отдыха, проведения специального комплекса производственной гимнастики, физиотерапевтических процедур. Время регламентированных перерывов включается в норму выработки, а режимы труда – в сменно-суточные задания.

Запрещается проведение сверхурочных работ с виброопасными ручными инструментами.

Таблица 7.8

Предельно допустимые значения виброускорения для рабочих мест (вибрация категории 1 – транспортная)

Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц	Виброускорение, м/с ²				Виброускорение, дБ			
	в 1/3 окт.		в 1/1 окт.		в 1/3 окт.		в 1/1 окт.	
	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀
0,8	0,70	0,22			117	107		
1,0	0,63	0,22	1,10	0,40	116	107	121	112
1,25	0,56	0,22			115	107		
1,6	0,50	0,22			114	107		
2,0	0,45	0,22	0,79	0,45	113	107	118	113
2,5	0,40	0,28			112	109		
3,15	0,35	0,35			111	111		
4,0	0,32	0,45	0,56	0,79	110	113	115	118
5,0	0,32	0,56			110	115		
6,3	0,32	0,70			110	117		
8,0	0,32	0,89	0,63	1,60	110	119	116	124
10,0	0,40	1,10			112	121		
12,5	0,50	1,40			114	123		
16,0	0,63	1,80	1,10	3,20	116	125	121	130
20,0	0,79	2,20			118	127		
25,0	1,00	2,80			120	129		
31,5	1,30	3,50	2,20	6,30	122	131	127	136
40,0	1,60	4,50			124	133		
50,0	2,00	5,60			126	135		
63,0	2,50	7,00	4,50	13,0	128	137	133	142
80,0	3,20	8,90			130	139		
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни			0,56	0,40		115		112

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Схема лабораторного стенда для измерения параметров вибрации и исследования эффективности виброизоляции представлена на рисунке 7.2. Объектом исследования является действующая модель станка для испытания прочности абразивных кругов 1, жестко закрепленная на платформе 2. Платформа установлена на фундаменте 3 с помощью пружинных виброизоляторов 4. Прижимные винты 5 позволяют жестко соединять платформу с фундаментом. В этом случае станок, платформа и фундамент будут представлять единую колебательную систему (виброизоляция выключена). Если прижимные винты ослабить, то вибрация от станка с платформой будет передаваться на фундамент через пружинные виброизоляторы (виброизоляция включена).

Таблица 7.9

Предельно допустимые значения виброускорения и виброскорости для рабочих мест (вибрация категории 2 – транспортно-технологическая)

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Виброускорение				Виброскорость			
	м/с ²		дБ		10 ⁻² м/с		дБ	
	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,6	0,25		108		2,50		114	
2,0	0,22	0,40	107	112	1,80	3,50	111	117
2,5	0,20		106		1,30		108	
3,15	0,18		105		0,98		105	
4,0	0,16	0,28	104	109	0,63	1,30	102	108
5,0	0,16		104		0,50		100	
6,3	0,16		104		0,40		98	
8,0	0,16	0,28	104	109	0,32	0,63	96	102
10,0	0,20		106		0,32		96	
12,5	0,25		108		0,32		96	
16,0	0,32	0,56	110	115	0,32	0,56	96	101
20,0	0,40		120		0,32		96	
25,0	0,50		114		0,32		96	
31,5	0,63	0,10	116	121	0,32	0,56	96	101
40,0	0,79		118		0,32		96	
50,0	1,00		120		0,32		96	
63,0	1,30	2,20	122	127	0,32	0,56	96	101
80,0	1,60		124		0,32		96	

Окончание табл. 7.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,28		109		0,56		

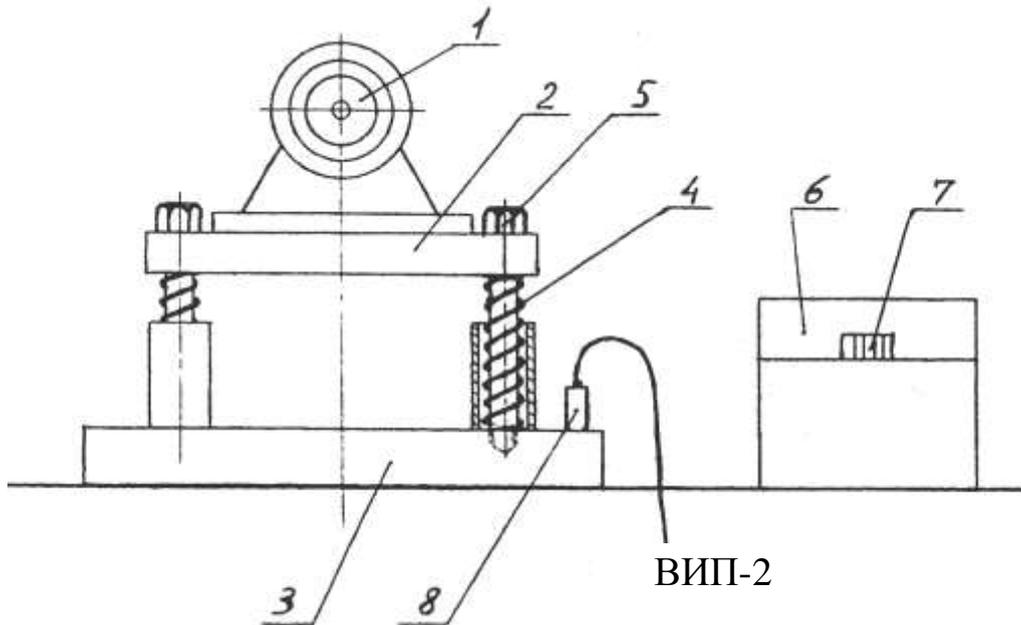


Рис. 7.2. Схема лабораторного стенда для измерения параметров вибрации и исследования эффективности виброизоляции

Таблица 7.10

Предельно допустимые значения виброускорения и виброскорости для рабочих мест (вибрация категории 3 – технологическая типа а)

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Виброускорение				Виброскорость			
	м/с ²		дБ		10 ⁻² м/с		дБ	
	в 1/3 окт.	В 1/1 окт.	В 1/3 окт.	В 1/1 окт.	В 1/3 окт.	В 1/1 окт.	В 1/3 окт.	В 1/1 окт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,6	0,089		99		0,89		105	
2,0	0,079	0,14	98	103	0,63	1,30	102	108
2,5	0,070		97		0,45		99	
3,15	0,063		96		0,32		96	
4,0	0,056	0,10	95	100	0,22	0,45	93	99
5,0	0,056		95		0,18		91	

Окончание табл. 7.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6,3	0,056		95		0,14		89	
8,0	0,056	0,10	95	100	0,11	0,22	87	93
10,0	0,070		97		0,11		87	
12,5	0,089		99		0,11		87	
16,0	0,110	0,20	101	106	0,11	0,20	87	92
20,0	0,140		103		0,11		87	
25,0	0,180		105		0,11		87	
31,5	0,220	0,40	107	112	0,11	0,20	87	92
40,0	0,280		109		0,11		87	
50,0	0,350		111		0,11		87	
63,0	0,450	0,79	113	118	0,11	0,20	87	92
80,0	0,560		115		0,11		87	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,10		100		0,20		92

Включают стенд с помощью блока управления 6. Частота вращения шпинделя станка зависит от напряжения, которое устанавливают на ЛАТР 7.

Параметры вибрации определяют прибором ВИП-2 с помощью датчика 8, закрепленного на фундаменте 3. Принцип измерения параметров вибрации прибором ВИП-2 заключается в преобразовании механической энергии в электрическую с помощью индукционного вибродатчика. На лицевой панели прибора имеется два переключателя: с правой стороны – переключатель рода измерений «mm/s– μ m», позволяющий переключать прибор на измерение амплитуды (положение « μ m») или виброскорости (положение «mm/s»); с левой стороны – переключатель диапазонов, который позволяет выбрать необходимую чувствительность прибора и шкалу стрелочного индикатора.

Цифры, стоящие в числителе, указывают на то, что вся шкала прибора составляет: 1, 3, 10, 30, 100 мм/с в зависимости от положения переключателя, а цифры, стоящие в знаменателе, – 10, 30, 100, 300, 1000 мкм. Измерительный прибор имеет две шкалы. При положении переключателя 1 /10, 10/100, 100/1000 пользуются верхней шкалой, при положении 3/30, 30/300 – нижней шкалой.

**Предельно допустимые значения виброускорения
и виброскорости для рабочих мест
(вибрация категории 3 – технологическая типа б)**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Виброускорение				Виброскорость			
	м/с ²		дБ		10 ⁻² м/с		дБ	
	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	В 1/3 окт.	В 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	В 1/3 окт.	В 1/1 окт.
1,6	0,035		91		0,350		97	
2,0	0,032	0,056	90	95	0,250	0,500	94	100
2,5	0,028		89		0,180		91	
3,15	0,025		88		0,130		88	
4,0	0,022	0,040	87	92	0,089	0,180	85	91
5,0	0,022		87		0,070		83	
6,3	0,022		87		0,056		81	
8,0	0,022	0,040	87	92	0,045	0,089	79	85
10,0	0,028		89		0,045		79	
12,5	0,035		91		0,045		79	
16,0	0,045	0,079	93	98	0,045	0,079	79	84
20,0	0,056		95		0,045		79	
25,0	0,070		97		0,045		79	
31,5	0,089	0,160	99	104	0,045	0,079	79	84
40,0	0,110		101		0,045		79	
50,0	0,140		103		0,045		79	
63,0	0,180	0,320	105	110	0,045	0,079	79	84
80,0	0,220		107		0,045		79	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,040		92		0,079		84

Порядок проведения исследований:

1. Измерение амплитуды колебаний:

- затянуть винты 5, тем самым выключить виброизоляцию;
- переключатель рода измерений прибора ВИП-2 установить в положение « μm » (измерение амплитуды);
- переключатель диапазонов прибора установить в крайнее правое положение (чувствительность прибора – минимальная);
- включить установку тумблером 6;
- регулятором 7 установить напряжение, подаваемое на электродвигатель 100 В;

Таблица 7.12

**Предельно допустимые значения виброускорения
и виброскорости для рабочих мест
(вибрация категории 3 – технологическая типа в)**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Виброускорение				Виброскорость			
	м/с ²		дБ		10 ⁻² м/с		дБ	
	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.
1,6	0,0130		82		0,130		88	
2,0	0,0110	0,020	81	86	0,089	0,180	85	91
2,5	0,0100		80		0,063		82	
3,15	0,0089		79		0,045		79	
4,0	0,0079	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82
5,0	0,0079		78		0,025		74	
6,3	0,0079		78		0,020		72	
8,0	0,0079	0,014	78	83	0,016	0,032	70	76
10,0	0,0100		80		0,016		70	
12,5	0,0130		82		0,016		70	
16,0	0,0160	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75
20,0	0,0200		86		0,016		70	
25,0	0,0250		88		0,016		70	
31,5	0,0320	0,056	90	95	0,016	0,028	70	75
40,0	0,0400		92		0,016		70	
50,0	0,0500		94		0,016		70	
63,0	0,0630	0,110	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,0790		98		0,016		70	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,014		83		0,028		75

Таблица 7.13

Предельно допустимые значения локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Виброускорение		Виброскорость	
	м/с ²	дБ	10 ² м/с	дБ
1	2	3	4	5
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109

Окончание табл. 7.13

1	2	3	4	5
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112

Таблица 7.14

Допустимое суммарное за смену время действия локальной вибрации

Превышение ПДУ локальной вибрации		Допустимое суммарное время воздействия локальной вибрации за смену, мин
дБ	раз	
1	1,1	381
2	1,25	302
3	1,4	240
4	1,6	191
5	1,8	151
6	2,0	120
7	2,25	95
8	2,5	76
9	2,8	60
10	3,2	48
11	3,6	38
12	4	30

Таблица 7.15

Допустимая суммарная длительность воздействия вибрации за смену (при пятидневной рабочей неделе)

Превышение допустимых уровней виброскорости в октавных полосах частот относительно санитарных норм, дБ	Допустимая суммарная длительность вибрации за рабочую смену, мин	
	ручные машины	рабочие места
0 (1 раз)	320	480
До 3 (1,41 раза)	160	120
До 6 (2 раза)	80	60
До 9 (2,8 раза)	40	30
До 12 (4 раза)	20	15

- переключатель диапазонов перевести в положение, при котором стрелка прибора отклонится на величину, удобную для отсчета. Результат измерения амплитуды занести в таблицу;

- устанавливая поочередно напряжение на двигателе 110, 120, 130, 140, 150 В, измерить амплитуду колебаний при соответствующих режимах работы электродвигателя. Результаты занести в таблицу;

- выключить установку.

2. Измерение виброскорости колебаний:

- переключатель рода измерений ВИП-2 установить в положение «mm/s» (измерение виброскорости);

- результаты занести в таблицу.

3. Оценка эффективности виброизоляции:

- не ослабляя прижимных винтов 5, включить установку, переключатель рода измерений прибора установить в положение измерения виброскорости;

- установить режим работы двигателя (напряжение питания), при котором виброскорость платформы принимает максимальное значение. Результат измерения максимальной виброскорости занести в таблицу;

- выключить установку;

- отпустить прижимные винты 5 (включена виброизоляция);

- включить установку. Не изменяя режима работы электродвигателя, в соответствии с п. 2 определить виброскорость при включенной виброизоляции;

- результат измерения занести в таблицу и сделать выводы об эффективности виброизоляции μ ;

- выключить установку.

Результаты измерения вибрации и оценки эффективности виброизоляции

Напряжение, В	Амплитуда А, мм	Виброскорость V, мм/с	Виброскорость при включенной виброизоляции V _в , мм/с	Эффективность виброизоляции $\mu = V_{в}/V$
100				
110				
120				
130				
140				
150				

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите причины возникновения производственной вибрации.
2. Назовите виды и категории производственной вибрации.
2. Охарактеризуйте количественные параметры производственной вибрации.
4. Расскажите о причинах возникновения вибрационной болезни.
5. Работа с ручным инструментом ($L_{ЭКВ} = 128$ дБ) производится при температуре 4°C и сопровождается шумом, уровень которого – 116 дБА. Категория работ по тяжести – 3.1 (вредная, первой степени). Определите срок и вероятность развития вибрационной болезни работающих в этих условиях.

Лабораторная работа № 8 «Исследование производственного шума»

1. Краткие теоретические сведения

С физиологической точки зрения, *шум* – любой звук, который может вызвать потерю слуха, быть вредным для здоровья или опасным в другом отношении. Как физическое явление шум – беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временных и спектральных характеристик. Шумы содержат звуки различных частот. Человек обладает неодинаковой чувствительностью к звукам различной частоты. Поэтому одной из важных характеристик шума является его частота f , измеряемая в герцах (Гц). Для гигиенической оценки шума используют звуковой диапазон частот от 45 до 11000 Гц, включающий девять октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц.

Октавная полоса (октава) – полоса частот, в которой верхняя граничная частота f_B в два раза превышает нижнюю граничную частоту f_H , т.е.

$$f_{CG} = (f_B \cdot f_H)^{1/2} = [2 \cdot (f_H)^2]^{1/2} \approx 1,4 \cdot f_H,$$

где f_{CG} – среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц.

Таблица 8.1

Среднегеометрические и граничные частоты октавных полос

Среднегеометрические частоты f_{CG} октавных полос, Гц	Граничные частоты, Гц	
	нижние f_H	верхние f_B
31,5	22,4	45
63	45	90
125	90	180
250	180	355
500	355	710
1000	710	1400
2000	1 400	2800
4000	2 800	5600
8000	5 600	11200

Пространство, в котором распространяются звуковые волны, называют **звуковым полем**. Любая точка звукового поля имеет определенное давление, скорость и кинетическую энергию частиц воздуха. При прохождении звуковых колебаний в среде частички среды совершают колебания относительно своего первоначального положения. Скорость этих колебаний значительно меньше скорости распространения звука в воздухе. Во время прохождения звуковых колебаний в воздушной среде появляются области разрежения и области повышенного давления. Разность давления в возмущенной и невозмущенной воздушной среде определяет величину **звукового давления** P , которое измеряют в паскалях (Па).

Слуховой анализатор человека начинает воспринимать изменение звукового давления от $P_1 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. Порогом болевого ощущения является звуковое давление, равное $2 \cdot 10^2$ Па.

Поток звуковой энергии в единицу времени, отнесенный к единице поверхности, перпендикулярной направлению распространения звуковой волны, называют **интенсивностью звука** в данной точке J , измеряемой в $\text{Вт}/\text{м}^2$. Минимальное значение интенсивности J_0 , едва различимое слуховым анализатором человека, равно $J_0 = 10^{-12}$ $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Интенсивность звука и звуковое давление связаны следующим соотношением:

$$J = P^2 / (\rho \cdot C), \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

где $\rho \cdot C$ – удельное акустическое сопротивление или акустическая жесткость среды, $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, например, для воды – $\rho \cdot C = 1,5 \cdot 10^6$, воздуха – $\rho \cdot C = 410$, стали – $\rho \cdot C = 4,8 \cdot 10^7$.

Таким образом, величина звукового давления от порога слышимости до порога болевого ощущения изменяется в 10^8 раз, а интенсивность звука – в 10^{12} раз. Такой большой диапазон изменения звукового давления и интенсивности звука не оказывает негативного влияния на организм человека, так как его ощущения при восприятии звука пропорциональны не абсолютному, а логарифмическому изменению энергии звукового раздражителя, т.е. воспринимают не абсолютное изменение звукового давления и интенсивности звука, а их относительный прирост или уменьшение.

Указанная физиологическая особенность слухового анализатора человека позволяет избежать неудобств, связанных с использованием больших чисел в инженерно-технических расчетах. Уровень интен-

сивности звука L_I при пороге слышимости, равном $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² условно принят за «0» – бел (Б). При возрастании интенсивности звука в 10 раз $I_0 = 10^{-11}$ Вт/м², а $L_I = 1$ Б, в 100 раз $I_0 = 10^{-10}$ Вт/м², $L_I = 2$ Б, в 1000 раз $I_0 = 10^{-9}$ Вт/м², $L_I = 3$ Б и т.д.

Ухо человека способно фиксировать изменение уровня интенсивности звука на 0,1 Б, т.е. на 1 децибел – 1 дБ (деци означает 10^{-1}).

Логарифмические уровни L_P и L_J рассчитывают относительно порогово ощутимых значений P_0 и J_0 :

$$L_J = 10 \lg(J/J_0); \quad L_P = 20 \lg(P/P_0).$$

Логарифмическая шкала удобна для оценки шума, так как уровень интенсивности звука L_J и уровень звукового давления L_P укладываются в пределах от 0 до 140 дБ. Например, если использовать логарифмическую шкалу, то уровень звука интенсивностью $I_0 = 10^{-8}$ Вт/м² составит:

$$L_I = \lg(10^{-8}/10^{-12}) = \lg 10^4 = 40 \text{ дБ}.$$

Когда в расчетную точку поступает шум от нескольких источников n , то суммарный уровень от действия шума оценивают суммой интенсивностей:

$$\sum J = J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J_n.$$

Разделим левую и правую части этого выражения на J_0 , прологарифмируем и получим

$$10 (\sum J/J_0) = 10 \lg[(J_1/J_0) + (J_2/J_0) + (J_3/J_0) + \dots + (J_n/J_0)].$$

Суммарный уровень интенсивности для n одинаковых источников шума будет равен

$$L_J = 10 \lg(n \cdot 10^{0,1L_1}), \text{ дБ}.$$

Любой источник шума характеризуется также звуковой мощностью, измеряемой в ваттах (Вт). **Звуковая мощность** W – общее количество звуковой энергии, излучаемой источником шума в окружающее пространство в единицу времени. По аналогии с уровнем звукового давления, уровнем интенсивности звука в акустических расчетах

принято использовать относительную величину L_W – уровень звуковой мощности:

$$L_W = 10 \lg(W/W_0),$$

где W_0 – пороговая звуковая мощность, $W_0 = 10^{-12}$ Вт.

Источники шума излучают звуковую энергию неравномерно по всем направлениям, т.е. обладают направленностью излучения, которая характеризуется **фактором направленности**:

$$\Phi = J_1/J_{CP}.$$

где J_{CP} – средняя интенсивность звука, Вт/м².

На поверхности сферы радиусом r , окружающей точечный источник шума, размеры которого малы по сравнению с длиной звуковых волн, средняя интенсивность звука равна

$$J_{CP} = W/(4 \pi \cdot r^2).$$

Поскольку интенсивность звука пропорциональна квадрату звукового давления, фактор направленности Φ излучения шума

$$\Phi = P^2/(P_{CP})^2,$$

где P_{CP} – среднее звуковое давление по направлениям излучения шума, Па.

При равномерном распространении звука во всех направлениях фактор направленности излучения шума $\Phi = 1$.

Пространственный угол излучения Ω зависит от местоположения источника шума. Если источник шума находится в открытом пространстве, то $\Omega = 4\pi$, на поверхности стены, перекрытия – $\Omega = 2\pi$, в двугранном углу, образованном ограждающими конструкциями, $\Omega = \pi$, а в трехгранном углу – $\Omega = \pi/2$.

Звуковая мощность W источника шума – величина постоянная. Уровни звукового давления в той или иной точке звукового поля зависят от места расположения источника шума (открытое пространство или помещение), путей проникновения шума на рабочее место. Процесс передачи энергии звуковых колебаний от источника их возникновения на рабочие места происходит как непосредственно по воздуху (воздушный шум) через неплотности в строительных конструкциях зданий, ограждающих поверхностях кабины и т.п., так и путем возбуж-

дения колебательных движений ограждающих поверхностей (структурный шум).

Производственный шум классифицируют по спектральным, временным характеристикам и происхождению.

По характеру спектра шум подразделяют:

- на широкополосный с непрерывным спектром шириной более одной октавы;

- тональный, в спектре которого имеются выраженные дискретные тона (четко прослушивается звук определенной частоты).

По временным характеристикам шум подразделяют на постоянный, уровень звука которого за восьмичасовой рабочий день (рабочую смену) изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерениях по временной характеристике шумомера «медленно», и непостоянный, уровень звука которого за восьмичасовой рабочий день (рабочую смену) изменяется во времени более чем на 5 дБА при измерениях на той же характеристике шумомера.

Шумовое воздействие на работника является непостоянным по уровню шума или времени его действия. Непостоянные шумы подразделяют:

- на прерывистые – уровень звука изменяется ступенчато (на 5 дБА и более, причем длительность интервалов, в течение которых уровень звука остается постоянным, составляет 1 с и более);

- колеблющиеся во времени – уровень звука непрерывно изменяется во времени;

- импульсные – состоят из одного или нескольких звуковых сигналов каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука, измеренные шумомерами на временных характеристиках «медленно» и «импульс» отличаются не менее, чем на 7 дБ.

Для оценки непостоянного шума используют эквивалентный (по энергии) уровень $L_{ЭКВ}$ – уровень постоянного шума, создающий в течение определенного времени, например, за рабочую смену, ту же дозу, что и данный непостоянный шум.

Дозу шума D применяют для оценки акустической энергии, воздействующей на человека за время действия непостоянного шума. Единица измерения дозы шума – $\text{Па}^2 \cdot \text{ч}$. В расчетах удобнее использовать относительное значение дозы шума $DШ$ в долях от допустимой:

$$DШ = D/D_{\text{доп}},$$

где $D_{\text{доп}}$ – допустимая доза шума:

$$D_{\text{доп}} = (P_{\text{АДОП}})^2 \cdot T_{\text{доп}},$$

где $P_{\text{АДОП}}$ – допустимое значение звукового давления, в расчетах принимают $P_{\text{АДОП}} = 0,35 \text{ Па}$; $T_{\text{доп}} = 8 \text{ ч}$.

Например, при $P_{\text{АДОП}} = 0,35 \text{ Па}$ и $T_{\text{доп}} = 8 \text{ ч}$ получаем допустимую дозу шума $D_{\text{доп}} = 1 \text{ Па}^2 \cdot \text{ч}$. При дозе шума $D = 2 \text{ Па}^2 \cdot \text{ч}$ – $\text{ДШ} = 2 \text{ Па}^2 \cdot \text{ч} / 1 \text{ Па}^2 \cdot \text{ч} = 2$, т.е. превышает допустимую дозу в два раза.

При измерении или расчете эквивалентного (по энергии) уровня используют правило «равной энергии» (параметр эквивалентности q) – число децибел, прибавляемых к уровню шума при уменьшении времени его действия в два раза для сохранения той же дозы шума. Параметр эквивалентности $q = 3$. Например, шум с уровнем 85 дБА, действующий в течение 8 ч, энергетически эквивалентен шуму с уровнем 88 дБА, действующему в течение 4 ч, или 91 дБА – 2 ч, или 94 дБА – 1 ч и т.д.

Можно определить необходимое количество дней работы $N_{0,5}$ при 0,5 дозы шума (эквивалентный уровень 82 дБА) после выполнения работ:

$$N_{0,5} = n \cdot \Delta \text{ДШ}^{1/2},$$

где n – количество дней работы в шумных условиях; $\Delta \text{ДШ}$ – превышение дозы шума за каждый день, раз.

Для оценки суммарного воздействия производственного и внепроизводственного шума используют среднесуточную дозу.

Суточная доза шума состоит из трех парциальных доз, соответствующих трем восьмичасовым периодам суток, отражающим основные виды жизнедеятельности человека: труд $\text{ДШ}_{\text{ТР}}$, деятельность и отдых в домашних условиях $\text{ДШ}_{\text{ОТД}}$ и сон $\text{ДШ}_{\text{СОН}}$.

Парциальные дозы определяют отдельно для каждого восьмичасового периода с учетом соответствующих им допустимых уровней шума.

Среднесуточную дозу определяем делением суммы парциальных доз на три (количество периодов суток):

$$\text{ДШ}_{\text{СР,СУТ}} = (\text{ДШ}_{\text{ТР}} + \text{ДШ}_{\text{ОТД}} + \text{ДШ}_{\text{СОН}}) / 3.$$

При средней суточной дозе не более единицы ($DШ_{СР.СУТ} \leq 1$) для человека обеспечиваются приемлемые акустические условия на производстве и в быту.

По происхождению шум подразделяют:

- на шум аэродинамического происхождения – шум, возникающий вследствие стационарных или нестационарных процессов в газах (истечение сжатого воздуха или газа из отверстий, пульсация давления при движении потоков воздуха или газа в трубах или при движении в воздухе тел с большими скоростями, горение топлива в форсунках и др.);

- шум гидродинамического происхождения – шум, возникающий вследствие стационарных или нестационарных процессов в жидкостях (гидравлические удары, турбулентность потока, кавитация и др.);

- шум электромагнитного происхождения – шум, возникающий вследствие колебаний электромеханических устройств под влиянием переменных магнитных сил (колебания статора и ротора электрических машин, сердечника трансформатора и др.);

- шум механического происхождения – шум, возникающий в результате неправильной центровки и неуравновешенности вращающихся частей, некачественного проведения планово-предупредительного ремонта оборудования и др.

Шум даже небольших уровней оказывает значительное влияние на слуховой анализатор человека, включающий в себя наружное ухо, среднее (осуществляет передачу звуковых колебаний) и внутреннее ухо (в нем звуковые колебания преобразуются в электрические сигналы, которые поступают в корковый отдел анализатора) (рис. 8.1).

Ушная раковина концентрирует звуки и направляет их в слуховой проход к барабанной перепонке, разграничивающей наружное и среднее ухо. Ее колебания передаются слуховым косточкам (молоточку, наковальне и стремечку), а затем мембране овального окна. При этом давление звуковых волн увеличивается в 30 раз, что обеспечивает колебания жидкости во внутреннем ухе. Полость среднего уха соединена с носоглоткой, и давление в нем уравнивается с атмосферным давлением с помощью евстахиевой трубы. Овальное окно с мембраной ограничивает среднее ухо от внутреннего, в котором к органу слуха относится улитка, канал которой разделен как бы на два этажа мембраной, состоящей из отдельных волокон разной длины. Самые длинные волокна расположены на вершине улитки, а самые

короткие – у ее основания. На этих волокнах расположены слуховые волосковые клетки. Такие клетки на вершине улитки воспринимают низкие звуки, а у основания – высокие. Человек может воспринимать звуки с частотой от 16 Гц до 20 кГц (табл. 8.1).

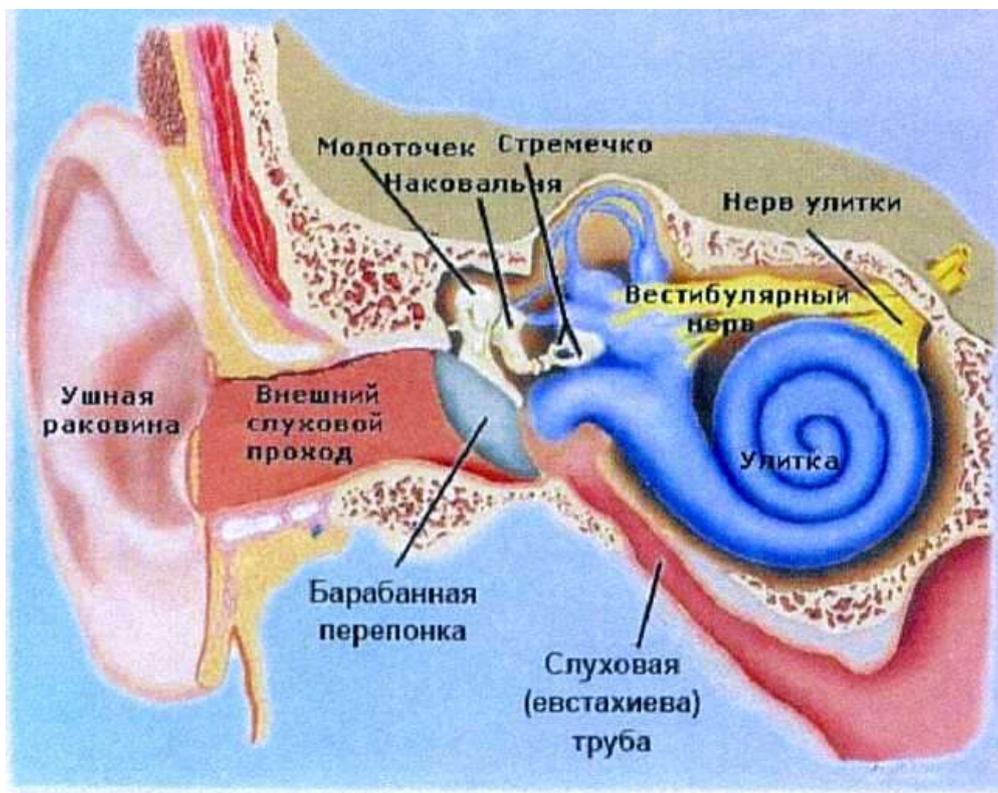


Рис. 8.1. Строение органа слуха человека

Орган слуха через центральную нервную систему (ЦНС) связан с различными органами жизнедеятельности человека. Поэтому шум оказывает вредное влияние на весь организм. Длительное воздействие интенсивного шума на человека приводит к заболеваниям нервной и сердечно-сосудистой систем, внутренних органов и психическим расстройствам. Выраженные психологические реакции проявляются, начиная с уровней шума 30 дБ. Нарушения вегетативной нервной системы и периферического кровообращения наблюдаются при шуме 40–70 дБ. Воздействие шума в 50–60 дБ на ЦНС проявляется в виде замедления реакций человека, нарушений биоэлектрической активности головного мозга с общими функциональными расстройствами организма и биохимическими в структурах головного мозга. Интенсивный шум (80 дБА и более) при длительном (более 10 лет) воздействии приводит к снижению слуха, развитию профессионального забо-

левания – *сенсоневральной тугоухости*, снижению работоспособности и создает предпосылки для общих заболеваний и производственного травматизма. Вероятность повреждения органов слуха зависит от эквивалентного уровня звука и продолжительности воздействия (табл. 8.2).

Для оценки и прогноза отдаленных последствий влияния шума на человека используют *уровень стажевой дозы шума* – величину, характеризующую шумовое воздействие за рабочий стаж и учитывающую эквивалентный уровень шума $L_{ЭКВ}$ и логарифм стажа по формуле

$$L_{дш(Т)} = L_{ЭКВ} - 10 \lg(T/T_0),$$

где T – стаж в годах; $T_0 = 1$ год.

Таблица 8.2

Вероятность повреждения органов слуха, %

Эквивалентный уровень звука, дБА	Продолжительность работы, годы			
	5	15	25	35
80	0	0	0	0
85	1	5	7	9
95	7	24	29	32
105	18	53	60	61
115	36	83	84	85

Ухудшение слуха или его полная потеря – основной критерий воздействия шума при физических работах. Для напряженного умственного труда на первое место выступают нервно-психические нарушения, вызванные воздействием шума. Эти выводы и положены в основу санитарно-гигиенического нормирования, основанного на результатах физиологических исследований действия шума на человека при различной трудовой деятельности. Санитарно-гигиеническому нормированию подлежат следующие характеристики звукового поля:

- уровень звукового давления в октавных полосах частот (для постоянного шума);

- уровень звука – уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет то же самое звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного времени;

- эквивалентные уровни звука (для непостоянного шума);
- длительность воздействия шума на человека в течение смены в зависимости от уровня и характера шума.

Санитарно-гигиенические требования к производственному шуму регламентируют:

- ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
- СанПиН 2.2.2.540-96 Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ.

В таблице 8.3 приведены предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест. Допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки установлены СН 2.2.4/2.1.8.562-96 в зависимости от времени суток (день, ночь) и назначения помещения или территории (табл. 8.4).

Наряду с санитарно-гигиеническим нормированием шума действует техническое нормирование – система ограничений шумовых характеристик оборудования, основанная на достижениях науки и техники по снижению шума. Результатом технического нормирования является выполнение санитарно-гигиенического нормирования. Техническому нормированию подлежат прежде всего уровни звуковой мощности в октавных полосах частот. Значения предельно допустимых шумовых характеристик (ПДШХ) рассчитывают методами:

- обратной задачи – при эксплуатации машин разных типов, произвольным образом расположенных в помещении;
- поправок – при эксплуатации однотипного оборудования, равномерно размещенного в помещении.

Целями установления ПДШХ оборудования являются:

- обеспечение условий труда, при которых шум, воздействующий на работника, не должен превышать предельно допустимых уровней, регламентированных нормативно-техническими документами;
- обеспечение требований охраны окружающей среды на расстоянии 700–1500 м от зоны жилой застройки в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Таблица 8.3

Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ(А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Теоретическая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	50	49	60
Работа, выполняемая с частично полученными указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа. Рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону; в машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Окончание табл. 8.3

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ(А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных выше и аналогичных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятия)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблица 8.4

**Предельно допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий
и на территориях жилой застройки**

Назначение помещения или территории	Время суток	Предельно допустимые уровни звукового давления постоянного и прерывистого шума, дБ, на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Жилые здания:									
жилые комнаты квартир	7–23 ч	63	52	45	39	35	32	30	28
	23–7 ч	55	44	35	29	25	22	20	18
жилые комнаты общежитий	7–23 ч	67	57	49	44	40	37	35	33
	23–7 ч	59	48	40	34	30	27	25	23
номера гостиниц	7–23 ч	67	57	49	44	40	37	35	33
	23–7 ч	59	48	40	34	30	27	25	23
территории жилой застройки	7–23 ч	75	66	59	54	50	47	45	43
	23–7 ч	67	57	49	44	40	37	35	33
Жилые помещения домов отдыха и пансионатов	7–23 ч	63	52	45	39	35	32	30	28
	23–7 ч	55	44	35	29	25	22	20	18
Места отдыха:									
площадки отдыха микрорайонов		67	57	49	44	40	37	35	33
сады, парки (зоны тихого отдыха)		67	57	49	44	40	37	35	33
зоны массового отдыха		71	61	54	49	45	42	40	38
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям поликлиник, школ и других учебных заведений, детских дошкольных учреждений		75	66	59	54	50	47	45	44
Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, конструкторских, проектных и научно-исследовательских организаций	7–23 ч	71	61	54	49	45	42	40	38
Палаты больниц и санаториев	7–23 ч	59	48	40	34	30	27	25	23
	23–7 ч	52	39	32	24	20	17	14	13

Результаты исследования производственного шума

Источник шума и средства защиты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ(А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Высокочастотный генератор 2 без средств защиты										
Низкочастотный генератор 3 без средств защиты										
Высокочастотный и низкочастотный генераторы без средств защиты										
Высокочастотный генератор 2 со звукоизолирую- щим кожухом										
Высокочастотный генератор 2 с экраном										
Низкочастотный генератор 2 со звукоизолирующим кожухом										
Низкочастотный генератор 2 с экраном										
Высокочастотный и низкочастотный генераторы со звукоизолирующим кожухом										
Высокочастотный и низкочастотный генераторы с экраном										

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Схема лабораторного стенда приведена на рисунке 8.2. В качестве источников шума используют генераторы звука: высокочастотный – 2 и низкочастотный – 3. Генераторы и микрофон шумомера 4 помещены в шумоизмерительную камеру 1, изготовленную из древесностружечной плиты.

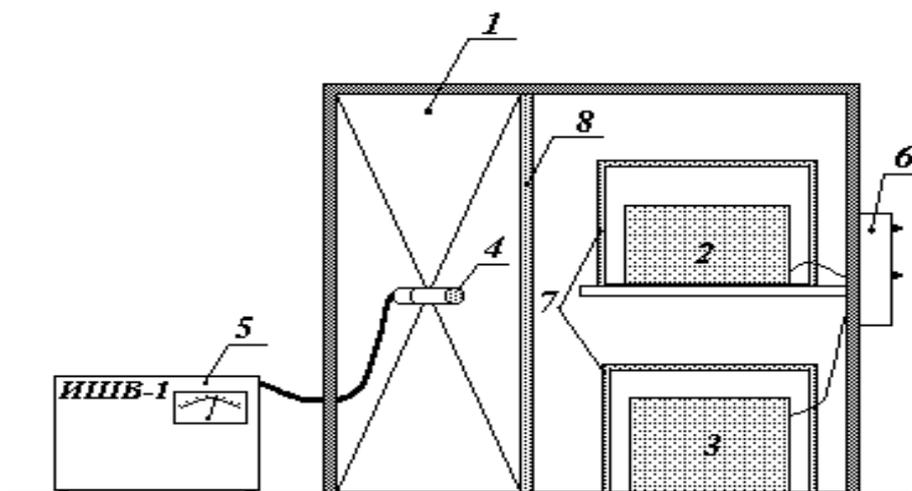


Рис. 8.2. Схема лабораторного стенда:

- 1 – шумоизмерительная камера; 2 – высокочастотный источник шума;
3 – низкочастотный источник шума; 4 – микрофон; 5 – измеритель шума;
6 – пульт управления лабораторным стендом; 7 – защитный кожух; 8 – экран

Для наглядности передняя панель выполнена из оргстекла. Шумоизмерительная камера позволяет создавать в лаборатории соответствующие условия. Для измерения звукопоглощающих и звукоизолирующих способностей материалов в шумоизмерительную камеру 1 помещают экран 8 и защитные кожухи 7 из различных материалов.

Измерительный микрофон 4 шумомера 5 состоит из микрофонного капселя и предварительного усилителя. Микрофон (емкостного типа) преобразует звуковое давление в электрическое напряжение. Это напряжение поступает на усилительную часть шумомера и усиливается им до величины, необходимой для нормальной работы среднеквадратичного детектора, и затем поступает на стрелочный прибор, проградуированный в дБ.

Для оценки шума используется отечественный измеритель (рис. 8.3, а), структурная схема которого приведена на рисунке 8.3, б. Микрофон M шумомера преобразует звуковые колебания в электрический ток, который усиливается в усилителе A , проходит через акустический фильтр (частотный анализатор) $A\Phi$, выпрямитель B и фик-

сигналируется индикатором *И*. Работа индикатора шума основана на принципе интерференции колебаний или явлений резонансного усиления.

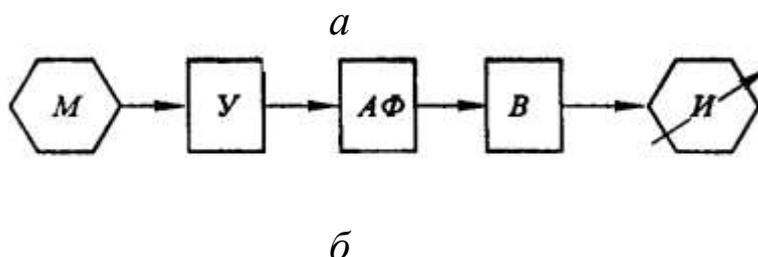


Рис. 8.3. Шумомер-анализатор (*a*) и его структурная схема (*б*)

Анализатор шума представляет собой электрический контур, который усиливает колебания только заданной частоты, не пропуская и не усиливая звуки других частот. Индикатор шумомера проградуирован в дБ действующих значений измеряемых уровней звукового давления. Значение измеряемой величины определяется суммированием положений *ДЕЛИТЕЛЬ I*, *ДЕЛИТЕЛЬ II* и показания по шкале прибора.

Измерение уровней звукового давления в октавных полосах частот осуществляется с помощью встроенных в прибор измерительных октавных фильтров. Октавные фильтры имеют коэффициент передачи, близкий к 1, и включаются в измерительный тракт в положении переключателя *РОД ИЗМЕРЕНИЯ – ФИЛЬТРЫ*. Для поддержания постоянного коэффициента усиления измерительного тракта предусмотрена электрическая калибровка измерительного прибора.

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать следующие требования безопасности:

- к работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторной установки;

- включать установку в работу только после разрешения преподавателя;

- перед измерениями необходимо понять смысл переключения каждого тумблера, при выполнении экспериментов запрещается трогать и открывать дверцы с источниками шума;

- после окончания экспериментов выключить установку и привести рабочее место в порядок.

Выполнение лабораторной работы производится в следующем порядке:

1) включить шумомер, для этого необходимо на панели прибора переключателя установить:

- *ДЕЛИТЕЛЬ I* – в положение *80*, *ДЕЛИТЕЛЬ II* – в положение *40*;

- *РОД ИЗМЕРЕНИЯ* – в положение *ЛИН*, *РОД РАБОТЫ* – *быстро*;

- *ЗВУК, ВИБРАЦИЯ* – *звук*.

Если при измерениях стрелка прибора находится в левой части шкалы, она выводится в переднюю часть изменением положения переключателей *ДЕЛИТЕЛЬ I*, а затем – *ДЕЛИТЕЛЬ II*.

Отсчет показания по прибору производится суммированием показаний *ДЕЛИТЕЛЬ I*, *ДЕЛИТЕЛЬ II*, стрелочного индикатора с учетом коэффициента поправки на чувствительность микрофона K (для данной настройки $K = -2$).

Пусть при измерении получены показатели: *ДЕЛИТЕЛЬ I* – 80, *ДЕЛИТЕЛЬ II* – 20, шкала прибора – 7. Тогда результат измерений будет равен $80 + 20 + 7 - 2 = 105$ дБ;

2) измерить уровни звукового давления в октавных полосах частот, для чего переключатель *РОД ИЗМЕРЕНИЯ* установить в положение фильтры, переключатель *ЧАСТОТА* поочередно в положения 16, 32, . . . , 8000 Гц.

При измерении уровней звукового давления в октавных полосах частот пользуются только переключателем *ДЕЛИТЕЛЬ II*, устанавливая его в каждой октавной полосе частот в такое положение, при котором стрелка измерительного прибора устанавливается в правой части шкалы. Пользоваться переключателем *ДЕЛИТЕЛЬ I* не допускается;

3) измерить уровень шума высокочастотного генератора 2 без средств защиты. Результаты измерений занести в таблицу;

4) измерить уровень шума низкочастотного генератора 3 без средств защиты. Результаты измерений занести в таблицу;

5) измерить суммарный уровень шума высокочастотного и низкочастотного генератора без средств защиты. Результаты измерений занести в таблицу. Построить спектры шума и, предварительно получив у преподавателя тип помещения или характеристику рабочего места, сравнить измеренные значения с нормируемыми параметрами (табл. 8.3–8.4);

6) измерить уровень шума высокочастотного генератора 2 с применением звукоизолирующего кожуха. Результаты измерений занести в таблицу;

7) измерить уровень шума высокочастотного генератора 2 с применением экрана. Результаты измерений занести в таблицу;

8) измерить уровень шума низкочастотного генератора 3 с применением звукоизолирующего кожуха. Результаты измерений занести в таблицу;

9) измерить уровень шума низкочастотного генератора 3 с применением экрана. Результаты измерений занести в таблицу;

10) измерить суммарный уровень шума высокочастотного и низкочастотного генератора с применением звукоизолирующего кожуха. Результаты измерений занести в таблицу;

11) измерить суммарный уровень шума высокочастотного и низкочастотного генератора с применением экрана. Результаты измерений занести в таблицу.

Содержание отчета о выполненной лабораторной работе включает:

- характеристику (назначение) помещения или рабочего места;
- экспериментальные данные (таблица результатов исследования производственного шума);
- графики спектров исследуемых шумов с нормируемыми кривыми предельного спектра;
- выводы об эффективности средств снижения шума.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите источники шума и количественные параметры шума.
2. В чем состоит влияние шума на организм человека?
3. Расскажите о видах нормирования шума.
4. Что такое октава?
5. Оцените суточную дозу шума при следующих исходных данных: на служащего в проектом институте воздействует шум уровнем 50 дБА, в домашних условиях – днем 50 дБА, ночью – 35 дБА.

Лабораторная работа № 9 «Оценка эффективности действия защитного заземления»

1. Краткие теоретические сведения

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом (вода реки или моря, каменный уголь в пласте и т.п.) металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус или по другим причинам.

Замыканием на корпус называется случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки.

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения человека к корпусу установки (рис. 9.1) и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус.



Рис. 9.1. Прикосновение человека к корпусу электрооборудования, находящегося под напряжением

Человек, прикоснувшийся к корпусу с поврежденной изоляцией, будет находиться под напряжением прикосновения $U_{\text{пр}}$ – разности потенциалов двух точек – точки касания $U_{\text{к}}$ и точки опоры $U_{\text{оп}}$:

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{к}} - U_{\text{оп}}, \text{ В.}$$

Если корпус электрооборудования не заземлен, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно однофазному включению. Допустим, что человек имеет проводящую обувь, стоит на про-

водящем полу, т.е. сопротивление обуви $R_{об} = 0$, пола $R_{п} = 0$, тогда ток, проходящий через тело человека, при фазном напряжении $U_{ф} = 220$ В, расчетном сопротивлении тела $R_h = 1000$ Ом человека, будет равен

$$I_h = U_{ф}/R_h = 220/1000 = 0,22 \text{ А},$$

а напряжение прикосновения:

$$U_{пр} = I_h \cdot R_h = 0,22 \cdot 1000 = 220 \text{ В}.$$

Итак, прикосновение человека к корпусу незаземленного электрооборудования представляет смертельную опасность.

Напряжения прикосновения при нормальном режиме работы электроустановки для переменного напряжения до 1 кВ промышленной частотой $f = 50$ Гц не должны превышать 2 В.

Если же корпус электрооборудования заземлен, то ток, проходящий через тело человека в трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью напряжением 220/380 В, равен

$$I_{ч} = 3^{1/2} \cdot U_{л}/[3R_h + R_{из} + (R_h \cdot R_{из}/R_3)], \text{ А},$$

где $R_{из}$ – сопротивление изоляции, Ом; R_3 – сопротивление защитного заземления, Ом.

После подстановки исходных данных получаем

$$I_{ч} = 3^{1/2} \cdot 380/[3 \cdot 1000 + 0,5 \cdot 10^6 + (1000 \cdot 0,5 \cdot 10^6/4)] \approx 1,1 \text{ мА},$$

т.е. ток, проходящий через тело человека, не превышает значение ощутимого, вызывающего раздражение.

Принцип действия защитного заземления – снижение до безопасных значений напряжения прикосновения и шага, обусловленного замыканием на корпус или другими причинами (рис. 9.2). Это достигается уменьшением потенциала заземленного оборудования (сопротивления заземлителя), а также выравниванием потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования.

Защитное заземление следует отличать от рабочего заземления, т.е. преднамеренного заземления с землей отдельных точек электрической цепи (например, нейтральных точек обмоток генераторов,

трансформаторов), а также фазы при использовании земли в качестве фазного или обратного провода.

Защитному заземлению подлежат металлические нетоковедущие части электрооборудования, которые вследствие неисправности изоляции и других причин могут оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей и животных.

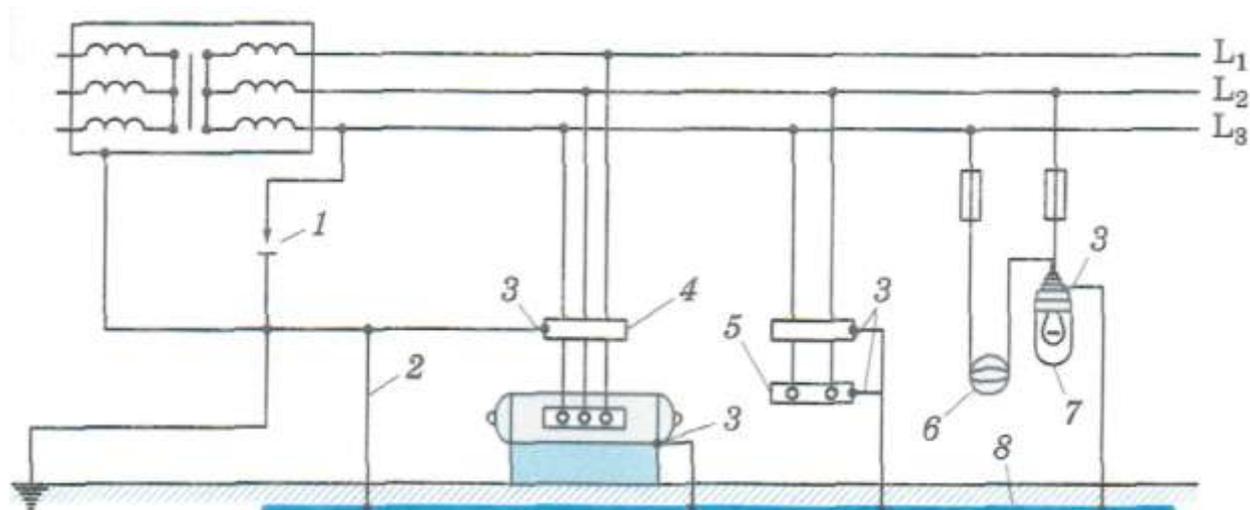


Рис. 9.2. Схема заземления в электросетях с изолированной нейтралью:
1 – пробивной предохранитель; 2 – магистраль заземления; 3 – болт присоединения заземления; 4 – защитный аппарат в металлическом корпусе; 5 – однофазный электроприемник; 6 – выключатель; 7 – светильник; 8 – заземляющая шина

Защитное заземление применяют в электроустановках с изолированной нейтралью до 1 кВ или в однофазных сетях глухозаземленным выводом источника тока (трансформатора), а также в электроустановках постоянного тока с изолированной средней точкой при повышенных требованиях безопасности.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках заземление обязательно при номинальном напряжении электроустановки (ЭУ) более 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока, в помещениях без повышенной опасности – при напряжении 380 В и более переменного тока и 440 В и более – постоянного тока.

Электробезопасность достигается применением *заземляющего устройства*, которое состоит из заземлителя, заземляющих проводников и главной заземляющей шины (магистраль заземления).

Металлический проводник или группа проводников, непосредственно соприкасающихся с землей, называется *заземлителем*. Заземли-

тель обеспечивает электрическую связь заземляющего устройства с землей.

Металлические проводники, соединяющие заземляемые части электроустановки с заземлителем, называются **заземляющими проводниками**. Заземляющий проводник соединяется с заземлителем и обеспечивает электрическую связь между заземлителем и главной заземляющей шиной, к которой присоединяются остальные защитные проводники электроустановки здания.

Заземлителем могут быть естественными и искусственными.

К **естественным заземлителям** относят электропроводящие части коммуникаций, зданий и сооружений производственного или другого назначения, соприкасающиеся с землей или находящиеся в ней и используемые для заземления. В качестве естественных заземлителей используют:

- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей, в том числе, железобетонные фундаменты зданий и сооружений, имеющие защитные гидроизоляционные покрытия в неагрессивных, слабоагрессивных и среднеагрессивных средах;

- подъездные рельсовые пути при устройстве перемычек между рельсами в случае отсутствия автоблокировки на них и наличии изолированного стыка в начале подъездного пути (изоляция от стационарных рельсовых цепей);

- металлические трубы водопровода, проложенные в земле;

- пути перекатки трансформаторов;

- металлические оболочки бронированных кабелей, проложенных в земле;

- другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения.

Не рекомендуется использовать в качестве естественных заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей и трубопроводов канализации и центрального отопления.

Искусственные заземлители – специально устанавливаемые в земле металлические конструкции (например, стальные трубы, стержни) или горизонтальные электроды в виде полосовой стали, предназначенные для присоединения к ним заземляющих проводников.

Область грунта, лежащую вблизи заземлителя, где потенциалы не равны нулю, называют **полем растекания тока**.

Электрический ток, проходя через заземлитель в землю, преодолевает сопротивление металла, сопротивление между ним и грунтом и сопротивление грунта. В целом эти три сопротивления называют **сопротивлением растеканию тока**. Сопротивление заземлителя и переходное по сравнению с сопротивлением грунта незначительны, и поэтому в понятии сопротивления заземлителя растеканию тока учитывают лишь сопротивление грунта растеканию тока.

По расположению заземлителей относительно заземленных корпусов заземляющие устройства подразделяют на выносные и контурные.

В выносном заземляющем устройстве заземлители расположены на некотором удалении от заземляемого оборудования, а заземленные корпуса находятся вне поля растекания тока в земле (рис. 9.3).

В контурном заземляющем устройстве заземлители размещают по контуру вокруг заземляемого оборудования на небольшом (несколько метров) расстоянии друг от друга. Поля растекания токов заземлителей частично перекрываются, увеличивается сопротивление растеканию тока. Внутри контура в земле, в полу или на их поверхности прокладывают горизонтальные полосы, которые дополнительно выравнивают потенциалы.

Кроме того, для обеспечения надежной работы охранной сигнализации и других устройств (например, видеонаблюдения), установленных по периметру ограждения объекта, и обеспечения безопасности людей и животных контур заземляющего устройства должен выходить за пределы ограждения объекта и располагаться в 1 м от него.

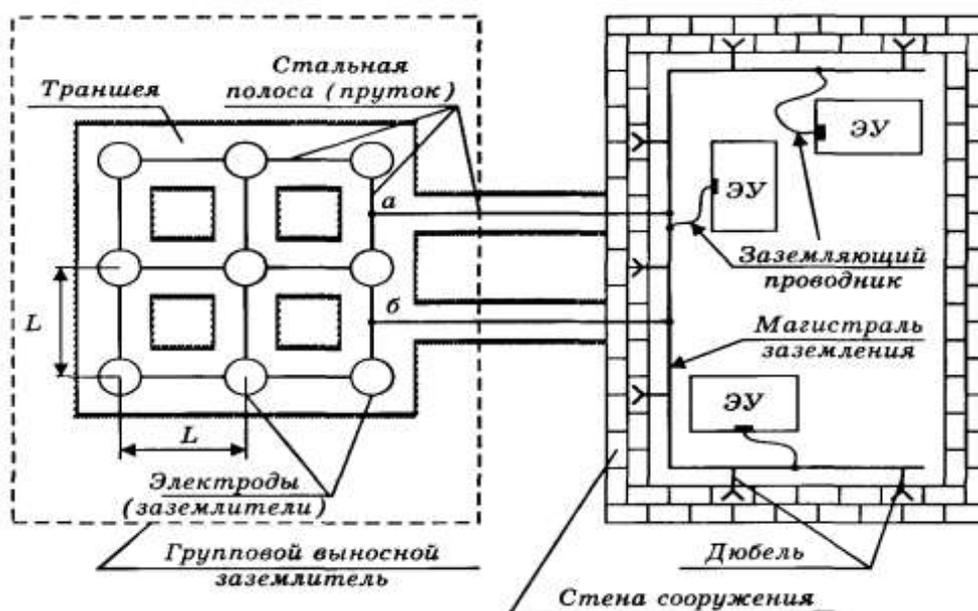


Рис. 9.3. Заземляющее устройство с групповым выносным заземлителем (L – расстояние между заземлителями)

В соответствии с ПУЭ сопротивление R_3 заземляющего устройства должно быть не более:

- 4 Ом – в ЭУ до 1 кВ с изолированной нейтралью, если суммарная мощность источника питания не превышает $100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ – 10 Ом;

- 2, 4 и 8 Ом – в ЭУ до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В, соответственно.

При удельном сопротивлении грунта ρ_0 более $100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ указанные значения сопротивлений увеличивают в отношении $\rho_0/100$, но не более десятикратного.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Цель лабораторной работы: оценить эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью и от трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.

Лабораторный стенд, представленный на рисунке 9.4, позволяет моделировать защитное заземление и зануление. Он имеет три измерительных прибора: цифровой вольтметр (диапазон измерения – от 0 до 2000 В), цифровой амперметр (от 0 до 2000 А), цифровой миллисекундомер (от 0 до 999 мс).

Вольтметр включается в измерительные цепи через гнезда X1–X15, установленные в соответствующих точках схемы, с помощью гибких проводников, снабженных наконечниками.

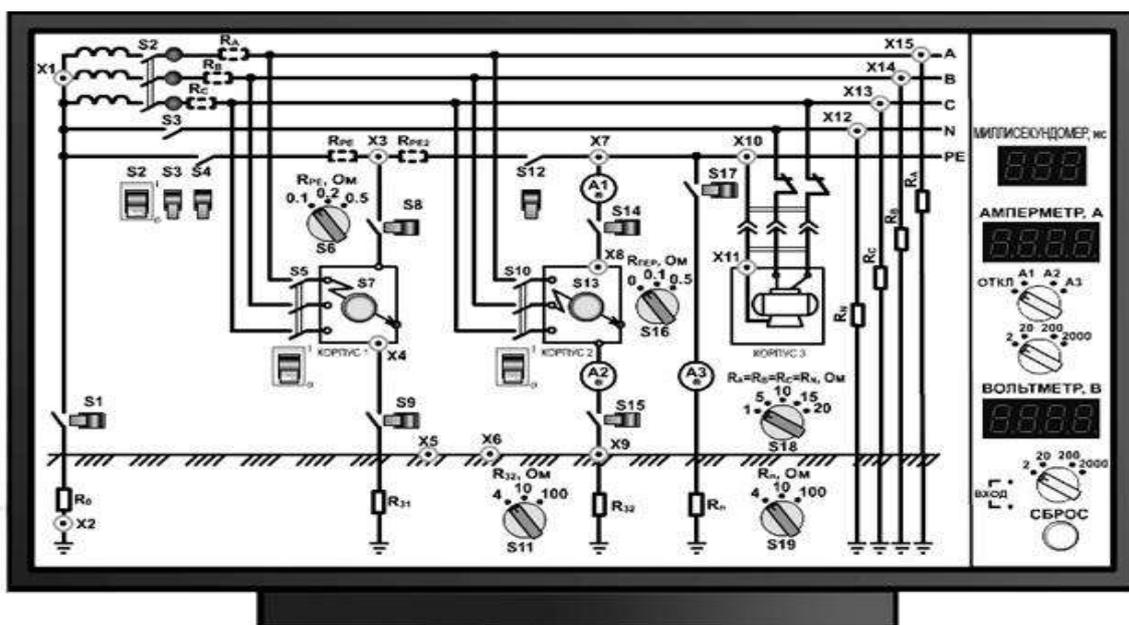


Рис. 9.4. Лабораторный стенд

Включение амперметра в цепь осуществляется с помощью переключателя, находящегося под индикатором. При соответствующем подключении загорается лампочка, указывающая на место подключения прибора. Положение *ОТКЛ* переключателя амперметра означает отсутствие амперметра в цепях стенда. В положении переключателя *A1* измеряется ток короткого замыкания, в положении *A2* – ток, стекающий с заземлителя корпуса 2, в положении *A3* – ток замыкания на землю через повторное заземление РЕ-проводника.

Миллисекундомер запускается переключателем *S13*, а отключается при срабатывании автоматического выключателя *S10*. Лабораторный стенд позволяет в течение длительного времени сохранять режим, соответствующий периоду замыкания фазного провода на корпус 1 и корпус 2. Для возврата схемы в исходное состояние (после того как измерены все необходимые параметры) следует нажать кнопку *СБРОС*.

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать следующие требования безопасности:

- к работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда;

- перед эксплуатацией лабораторный стенд должен быть заземлен, для чего используется элемент заземления с обозначением «земля». Присоединение к шине заземления должно быть выполнено медным проводом сечением не менее 2,5 мм²;

- к работам по монтажу и проверке лабораторного стенда допускаются студенты, обученные методам безопасной работы с электрооборудованием напряжением до 1 кВ в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей;

- во избежание поражения электрическим током лабораторный стенд при вскрытии должен быть отключен от сети.

Оценку эффективности действия защитного заземления в сетях с изолированной нейтралью выполняют в следующем порядке:

- 1) изолировать нейтраль – перевести переключатель *S1* в левое положение;

- 2) отключить N- и РЕ-проводники – перевести переключатели *S3* и *S4* в нижнее положение;

3) установить значения активных сопротивлений изоляции $R_A = R_B = R_C = R_N$ переключателем $S18$ в соответствии с заданием преподавателя (например, $R_A = R_B = R_C = R_N = 10 \text{ кОм}$);

4) убедиться в том, что переключатели $S8, S14, S17, S9, S15$ находятся в левом положении, а переключатель $S12$ – в нижнем положении;

5) включить стенд – перевести переключатель $S2$ в положение I (при этом загораются лампы);

6) подключить корпус 2 к сети – автоматический выключатель $S10$ перевести в положение I (корпус 1 отключен – переключатель $S5$ находится в положении 0);

7) произвести переключателем $S13$ замыкание фазного провода B на корпус 2 ;

8) вольтметром с помощью гибких проводников измерить:

- напряжение корпуса 2 относительно земли ($U_{\text{пр}}$ – гнезда $X8$ и $X2$);

- напряжения фазных проводов относительно земли (U_A – гнезда $X2$ и $X15$, U_B – $X2$ и $X14$, U_C – $X2$ и $X13$). Результаты измерений записать в таблицу;

9) кнопкой $СБРОС$ устранить замыкание фазного провода на корпус 2 ;

10) выключить стенд – перевести переключатель $S2$ в положение 0 ;

11) заземлить приемник через сопротивление (установить значение сопротивления $R_{32} = 4 \text{ Ом}$);

12) заземлить корпус 2 – установить переключатель $S15$ в верхнее положение;

13) включить стенд – установить переключатель $S2$ в положение I ;

14) произвести замыкание фазного провода B на корпус 2 посредством переключателя $S13$;

15) вольтметром с помощью гибких проводников измерить:

- напряжение корпуса 2 относительно земли ($U_{\text{пр}}$ – гнезда $X8$ и $X2$);

- напряжения фазных проводов относительно земли (U_A – гнезда $X2$ и $X15$, U_B – $X2$ и $X14$, U_C – $X2$ и $X13$). Результаты измерений записать в таблицу;

16) последовательно устанавливая значения сопротивления $R_{32} = 4; 10; 100 \text{ Ом}$, измерить напряжение прикосновения при различных значениях расстояния до заземлителя ($U_{\text{пр}1}$ – гнезда $X8$ и $X9$, $U_{\text{пр}2}$ – $X8$ и $X6$, $U_{\text{пр}3}$ – $X8$ и $X5$). При измерении напряжения необхо-

димо отключить амперметр (переключатель амперметра установить в положение *ОТКЛ*). Результаты измерений записать в таблицу;

17) измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение *A2*, при этом загорается лампа, соответствующая данному подключению амперметра. При переходе с одного предела измерения амперметра на другой необходимо дождаться установившегося показания прибора. При измерениях с помощью цифровых приборов наблюдается дрейф последней цифры, поэтому в таблицу следует заносить среднее значение показаний;

18) переключатель амперметра установить в положение *ОТКЛ*;

19) отключить стенд – перевести переключатель *S2* в положение *0*;

20) построить график зависимости напряжения прикосновения от расстояния до заземлителя $U = f(x)$.

Оценку эффективности действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании на заземленные корпуса выполняют в следующем порядке:

1) заземлить корпус *1* – перевести переключатель *S9* в правое положение;

2) подключить корпус *1* к сети – установить автоматический выключатель *S5* в положение *1*;

3) включить стенд – перевести переключатель *S2* в положение *1*;

4) одновременно переключателями *S7* и *S13* произвести замыкание фазных проводов *A* и *B* и на корпус *1* и корпус *2*, соответственно;

5) вольтметром с помощью гибких проводников измерить:

- напряжение корпуса *1* относительно земли ($U_{к1}$ – гнезда *X4* и *X2*);

- напряжение корпуса *2* относительно земли ($U_{к2}$ – гнезда *X8* и *X2*).

При измерении напряжения необходимо отключить амперметр, установив переключатель в положение *ОТКЛ*. Результаты измерений записать в таблицу;

6) измерить ток замыкания I_3 на землю – установить переключатель амперметра в положение *A2*. Результат измерения записать в таблицу;

7) переключатель амперметра установить в положение *ОТКЛ*;

8) отключить стенд – установить переключатель *S2* в положение *0*.

Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью

Наличие заземления	Напряжение, В							Ток замыкания на землю, А
	«корпуса 2» относительно земли U_{K2} (X8 и X2)	фазных проводов относительно земли			прикосновения при различных расстояниях до заземлителя			
		U_A (X2 и X15)	U_B (X2 и X14)	U_C (X2 и X13)	$U_{пр1}$ (X8 и X9)	$U_{пр2}$ (X8 и X6)	$U_{пр3}$ (X8 и X5)	
Корпус 2 не заземлен								
Корпус 2 заземлен								
$R_{32} = 4 \text{ Ом}$								
$R_{32} = 10 \text{ Ом}$								
$R_{32} = 100 \text{ Ом}$								

Оценку эффективности действия защитного заземления в сети с заземленной нейтралью выполняют в следующем порядке:

1) отключить корпус 1 от сети – установить переключатель $S5$ в положение 0;

2) заземлить нейтраль источника тока – перевести переключатель $S1$ в правое положение;

3) подключить N- и PE-проводник к источнику питания – перевести переключатели $S3$ и $S4$ в верхнее положение;

4) включить стенд – перевести переключатель $S2$ в положение 1;

5) переключателем $S13$ замкнуть фазный провод В на корпус 2;

6) последовательно устанавливая значения сопротивления $R_{32} = 4; 10; 100$ Ом, вольтметром с помощью гибких проводников измерить напряжение:

- корпуса 2 относительно земли (U_{K2} – гнезда X8 и X2);

- нейтральной точки относительно земли (U_0 – гнезда X1 и X2);

7) измерить ток замыкания на землю I_3 , установив переключатель амперметра в положение A2. Результаты измерений записать в таблицу;

8) заземлить корпус 2 – перевести переключатель $S15$ в правое положение и повторить выполнение пп. 4–6 для сопротивления заземления R_{32} , равного 4, 10 и 100 Ом. Результаты измерений записать в таблицу;

9) выключить стенд – установить переключатель $S2$ в положение 0;

10) все переключатели перевести в исходное состояние;

11) построить графики зависимостей напряжения корпуса и тока замыкания на землю от сопротивления заземлителя $U_K = f(R_{32})$ и $I_3 = f(R_{32})$.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о классификации заземляющих устройств.

2. Назовите составляющие заземляющего устройства.

3. Объясните принцип работы и область применения защитного заземления.

4. Перечислите факторы, в зависимости от которых нормируется сопротивление защитного заземления.

5. Что такое сопротивление заземлителя растеканию тока?

6. В чем заключается отличие защитного заземления от рабочего заземления?

7. Определите величину тока, протекающего через тело человека при прикосновении его к одному проводу трехфазной сети с заземленной и изолированной нейтралью. Напряжение питающего трансформатора 380/220 В. Сопротивление пола – 104 кОм, сопротивление изоляции – 500 кОм, сопротивление обуви – 1,5 кОм.

Лабораторная работа № 10 «Оценка эффективности действия зануления»

1. Краткие теоретические сведения

Зануление – преднамеренное электрическое соединение металлических токоведущих частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока в трехфазных сетях.

Принципиальная схема зануления представлена на рисунке 10.1.

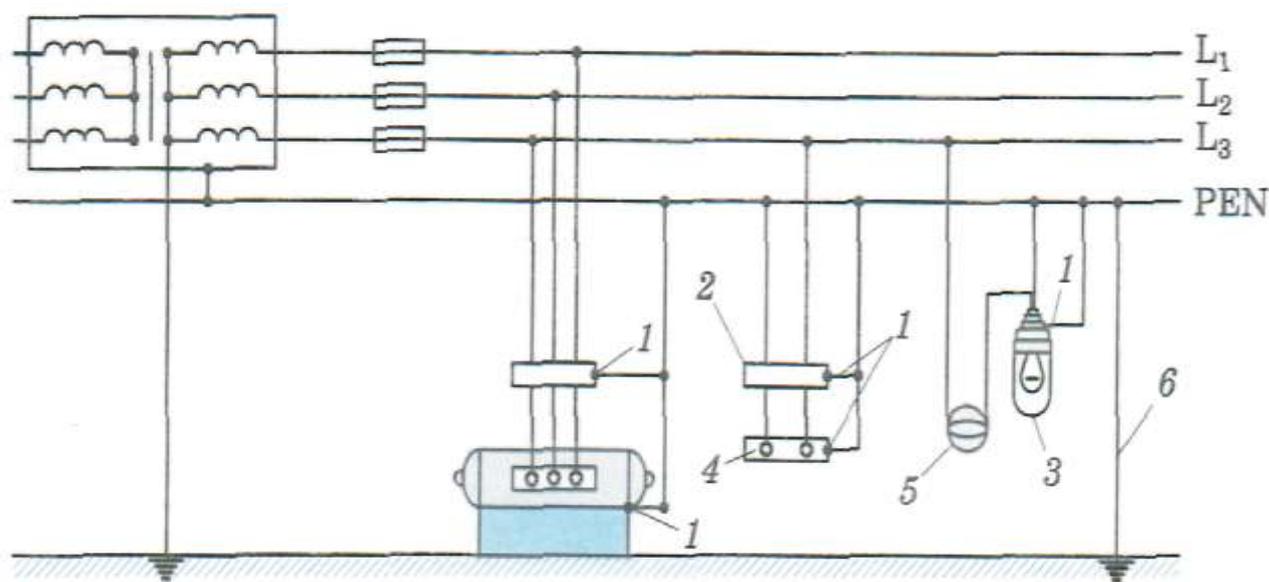


Рис. 10.1. Схема зануления в электросетях с глухозаземленной нейтралью:
1 – болт присоединения зануления; 2 – защитный аппарат в металлическом корпусе; 3 – светильник; 4 – однофазный электроприемник; 5 – выключатель;
6 – повторное заземление нулевого защитного проводника PEN

Проводник, обеспечивающий указанные соединения зануляемых частей с глухозаземленной нейтральной точкой, выводом и средней точкой обмоток источников тока, называется **нулевым защитным проводником** (РЕ-проводником). Нулевой защитный проводник следует отличать от так называемого нулевого рабочего проводника (N-проводника), который также соединен с глухозаземленной нейтральной точкой, выводом и средней точкой обмоток источников тока, но предназначен для питания током электроприемников, т.е. является частью цепи рабочего тока и по нему проходит рабочий ток.

Проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников, называется *совмещенным нулевым защитным и нулевым рабочим проводником* (PEN-проводником).

Назначение зануления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и к другим металлическим токоведущим частям, оказавшимся под напряжением относительно земли вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Принцип действия зануления заключается в том, что при аварийном замыкании одной из фаз на корпус оборудования в электроустановках происходит короткое замыкание (через корпус) между поврежденной фазой и нулевым защитным проводником PEN. Защита человека от поражения электрическим током будет обеспечена, если значение тока $I_{кз}$ однофазного короткого замыкания удовлетворяет условию:

$$I_{кз} \geq k \cdot I_{ном}, \text{ А,}$$

где k – коэффициент кратности номинального тока $I_{ном}$ плавкого предохранителя или автоматического выключателя (определяется по характеристикам указанных средств защиты).

В качестве такой защиты применяются:

- плавкие предохранители или автоматические выключатели максимального тока, устанавливаемые для защиты от тока короткого замыкания (КЗ);

- магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, осуществляющие защиту от перегрузки;

- автоматические выключатели с комбинированными расцепителями, обеспечивающие защиту одновременно от тока короткого замыкания и перегрузки.

Поскольку зануленный корпус (другие токоведущие металлические части) одновременно заземлен через нулевой защитный проводник, то в аварийный период, т.е. с момента возникновения замыкания на корпус и до автоматического отключения поврежденной электроустановки от сети проявляется защитное свойство этого заземления, как при защитном заземлении. Иначе говоря, заземление корпусов через нулевой проводник снижает в аварийный период напряжение прикосновения между корпусом электроустановки (ЭУ) и землей.

Таким образом, зануление осуществляет два защитных действия – быстрое автоматическое отключение поврежденной установки от сети и снижение напряжения зануленных металлических токоведущих частей, оказавшихся под напряжением относительно земли. При этом отключение ЭУ осуществляется лишь при замыкании на корпус, а снижение напряжения – во всех случаях возникновения напряжения на зануленных металлических токоведущих частях, в том числе при замыкании на корпус, при электростатическом и электромагнитном влиянии соседних цепей и т.п.

Область применения зануления – трехфазные четырехпроводные сети до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, в том числе наиболее распространенные сети напряжением 380/220 В, а также сети 220/127 и 660/380 В.

Назначение нулевого защитного проводника – обеспечить необходимое для отключения установки значение тока однофазного КЗ путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением.

Назначение заземления нейтрали обмоток источника тока, питающего сеть до 1 кВ, – снижение напряжения зануленных корпусов (таже нулевого защитного проводника) относительно земли до безопасного значения при замыкании фазы на землю.

Назначение повторного заземления защитного проводника – снижение напряжения относительно земли зануленных конструкций в период замыкания фазы на корпус как при исправной схеме зануления, так и в случае обрыва нулевого защитного проводника.

Зануление должно выполняться в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных в отношении поражения электрическим током, а также вне помещений при напряжении электроустановок, превышающем 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока; в помещениях без повышенной опасности при напряжении электроустановок 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока; во взрывоопасных зонах всех классов независимо от напряжения электроустановок.

Согласно ПУЭ для обеспечения безопасности:

- сопротивление заземления нейтрали должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380, 220 В источника трехфазного тока или 380, 220, 127 В – источника однофазного тока;

- общее сопротивление всех повторных заземлений нулевого провода каждой ВЛ должно быть не более 5, 10 и 20 Ом, соответственно; при линейных напряжениях 660, 360 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220, 127 В – источника однофазного тока. При этом сопротивление заземлений нулевых PEN проводников должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях;
- полная проводимость нулевых защитных проводников должна быть не менее проводимости фазного провода;
- проводники для повторных заземлений нулевого провода должны иметь пропускную способность не менее 25 А.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Содержание лабораторной работы заключается в оценке эффективности:

- зануления в сети без повторного заземления нулевого защитного проводника;
- зануления в сети с повторным заземлением нулевого защитного проводника;
- повторного заземления при обрыве нулевого защитного проводника.

Лабораторный стенд представляет собой модель электрической сети с источником питания, электропотребителями, измерительными приборами и средствами защиты. Общий вид стенда представлен на рисунке 10.2.

В качестве источника напряжения используется трехфазный трансформатор. Стенд включается трехфазным автоматическим выключателем $S2$ при переводе его в положение I . При этом загораются индикаторы желтого, зеленого и красного цветов, расположенные рядом с фазными проводами A, B, C . Режим нейтрали сети изменяется переключателем $S1$, причем его правое положение соответствует режиму заземленной нейтрали, а левое – режиму изолированной нейтрали. Нейтральная точка заземляется через сопротивление $R0 = 4$ Ом. С помощью переключателя $S3$ подключается нулевой рабочий проводник (N-проводник). Переключатель $S4$ предназначен для подключения нулевого защитного проводника (PE-проводника). Верхнее положение переключателей $S1$ и $S2$ моделирует пятипроводную сеть, нижнее – трехпроводную.

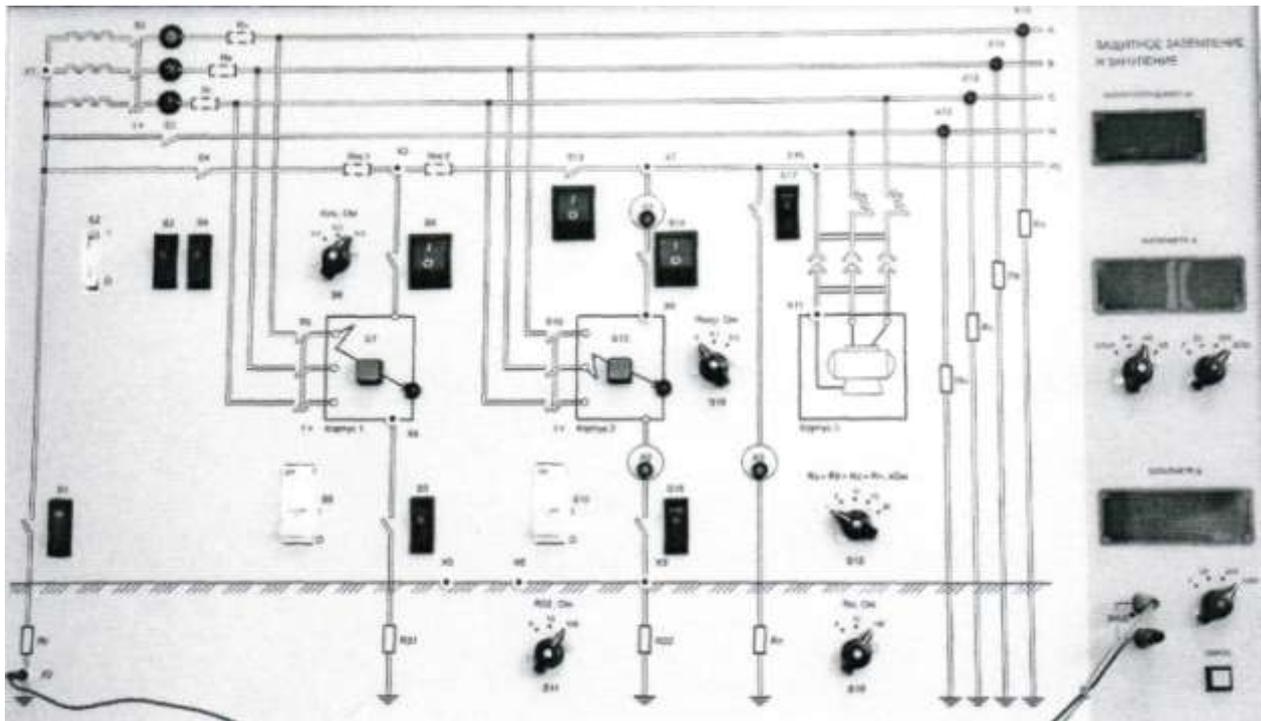


Рис. 10.2. Лабораторный стенд

Сопротивления фазных проводов сети и N-провода относительно земли смоделированы сосредоточенными сопротивлениями R_A , R_B , R_C , R_N . В данном стенде моделируется только активная составляющая полного сопротивления, причем изучается случай симметричной проводимости проводов относительно земли, т.е. $R_A = R_B = R_C = R_N$. Значения указанных на стенде сопротивлений (1; 5; 10; 15; 20 кОм) изменяются пятипозиционным переключателем $S18$ в зависимости от вариантов, задаваемых преподавателем.

Электропотребители на мнемосхеме показаны в виде их корпусов: корпус 1 и корпус 2, которые являются трехфазными и подключены к сети через автоматические выключатели $S5$ и $S10$, соответственно; корпус 3 является однофазным, выполненным по первому классу защиты от поражения электрическим током.

Положение 1 означает включение автоматических выключателей $S5$ и $S10$, при этом напряжение подается на потребители.

Лабораторный стенд позволяет моделировать два способа защиты: защитное заземление и зануление. Подключение корпуса 1 и корпуса 2 к РЕ-проводнику осуществляется переключателями $S8$ и $S14$, соответственно. Правое положение этих переключателей означает, что «корпуса» занулены. Сопротивление фазного провода R_ϕ не изменяется и составляет 0,1 Ом, распределенное равномерно на двух участках:

- нейтральная точка – точка подключения корпуса 1;
- точка подключения корпуса 1 – точка подключения корпуса 2.

Сопротивление РЕ-проводника может изменяться с помощью трехпозиционного переключателя S_6 , причем сопротивления участков *нейтраль* – корпус 1 и корпус 1 – корпус 2 равны между собой и принимают значения 0,1; 0,2; 0,5 Ом. Обрыв РЕ-проводника между точками подсоединения корпуса 1 и корпуса 2 имитируется с помощью переключателя S_{12} , нижнее положение которого соответствует обрыву проводника. Повторное заземление с сопротивлением R_{Π} подключается к РЕ-проводнику с помощью переключателя S_{17} . Значение сопротивления R_{Π} изменяется трехпозиционным переключателем S_{19} (4, 10, 100 Ом). Переходное сопротивление $R_{\text{пер}}$ между корпусом 2 и зануляющим проводником изменяется трехпозиционным переключателем S_{16} и может принимать значения 0; 0,1; 0,5 Ом.

Подключение корпуса 1 и корпуса 2 к заземляющим устройствам с сопротивлениями R_{31} и R_{32} осуществляется с помощью переключателей S_9 и S_{15} , соответственно. Сопротивление заземления R_{31} корпуса 1 является постоянным, равным 4 Ом. Сопротивление заземления R_{32} корпуса 2 устанавливается с помощью трехпозиционного переключателя S_{11} (4, 10, 100 Ом).

Замыкание фазных проводов на корпус 1 и корпус 2 осуществляется переключателями S_7 и S_{13} , соответственно, причем на корпус 1 замыкается фазный провод А, а на корпус 2 – фазный провод В.

Лабораторный стенд имеет три измерительных прибора: цифровой вольтметр (диапазон измерения – от 0 до 2000 В), цифровой амперметр (от 0 до 2000 А), цифровой миллисекундомер (от 0 до 999 мс).

Вольтметр включается в измерительные цепи через гнезда $X1$ – X_{15} , установленные в соответствующих точках схемы, с помощью гибких проводников, снабженных наконечниками.

Включение амперметра в цепь осуществляется с помощью переключателя, находящегося под индикатором. При соответствующем подключении загорается лампочка, указывающая на место подключения прибора. Положение *ОТКЛ* переключателя амперметра означает отсутствие амперметра в цепях стенда. В положении переключателя $A1$ измеряется ток короткого замыкания, в положении $A2$ – ток, стекающий с заземлителя корпуса 2, в положении $A3$ – ток замыкания на землю через повторное заземление РЕ-проводника.

Миллисекундомер запускается переключателем S_{13} , а отключается при срабатывании автоматического выключателя S_{10} . лабора-

торный стенд позволяет в течение длительного времени сохранять режим, соответствующий периоду замыкания фазного провода на корпус 1 и корпус 2. Для возврата схемы в исходное состояние (после того как измерены все необходимые параметры) следует нажать кнопку СБРОС.

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать следующие требования безопасности:

- к работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда;

- перед эксплуатацией лабораторный стенд должен быть заземлен, для чего используется элемент заземления с обозначением *Земля*. Присоединение к шине заземления должно быть выполнено медным проводом сечением не менее $2,5 \text{ мм}^2$;

- к работам по монтажу и проверке лабораторного стенда допускаются студенты, обученные методам безопасной работы с электрооборудованием напряжением до 1 кВ в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей;

- во избежание поражения электрическим током лабораторный стенд при вскрытии должен быть отключен от сети.

Определение времени срабатывания автоматических выключателей и тока короткого замыкания при замыкании фазного провода на корпус при различном сопротивлении петли «фаза – нуль» выполняются в следующем порядке:

1) заземлить нейтраль источника тока – перевести переключатель *S1* в положение *1*;

2) подключить N- и PE-проводники к источнику тока – перевести переключатели *S3*, *S4* и *S12* в положение *1*;

3) подключить корпус 1 и корпус 2 к PE-проводнику – перевести переключатели *S8* и *S14* в положение *1*;

4) убедиться в том, что переключатели *S9*, *S15*, *S17* находятся в положении *0*;

5) подключить корпус 1 и корпус 2 к сети – перевести переключатели *S5* и *S10* в положение *1*;

Результаты измерения времени срабатывания защиты t , тока короткого замыкания $I_{кз}$, распределения потенциалов при различных значениях сопротивления РЕ-проводника, режимах его работы при наличии и отсутствии повторного заземления

Наличие повторного заземления и режим работы РЕ-проводника	Сопротивление, Ом			Ток, А		Напряжение относительно земли, В				Время срабатывания защиты t , мс
	$R_{П}$	$R_{РЕ}$	$R_{ПЕР}$	короткого замыкания $I_{кз}$	замыкания на землю I_3	U_0	U_1	U_2	U_3	
Без повторного заземления		0,1	0 0,1 0,5							
		0,2								
		0,5								
С повторным заземлением	4									
	10									
	100									
Обрыв РЕ-проводника	4									
	10									
	100									

Примечание. Напряжение относительно земли: U_0 – нейтральной точки источника, U_1 – корпуса 1, U_2 – корпуса 2, U_3 – точки нулевого проводника, находящейся за корпусом 2.

6) установить переключателем $S6$ значение сопротивления $R_{PE} = 0,1$ Ом, а исходное положение переключателя шкалы амперметра – 2000;

7) произвести кнопкой $S13$ замыкание фазного провода на корпус 2;

8) определить время срабатывания автоматических выключателей по показаниям миллисекундомера и тока короткого замыкания I_{K3} по показаниям амперметра, при этом переключатель амперметра должен находиться в положении $A1$. Результаты измерений записать в таблицу;

9) поочередно установить значения сопротивления $R_{PE} = 0,2; 0,5$ Ом, измерить время и ток короткого замыкания аналогично заданиям пп. 7 и 8. Результаты измерений записать в таблицу;

10) установить по заданию преподавателя фиксированное значение сопротивления R_{PE} ;

11) последовательно устанавливая значение переходного сопротивления $R_{пер} = 0; 0,1; 0,5$ Ом, измерить время срабатывания и ток короткого замыкания в соответствии с пп. 7 и 8. Результаты измерений записать в таблицу;

12) отключить стенд – перевести переключатель $S2$ в положение 0.

Распределение потенциалов вдоль РЕ-проводника без повторного заземления и при его наличии повторного заземления выполняют в следующем порядке:

1) установить значения сопротивлений $R_{PE} = 0,1$ Ом, $R_{пер} = 0$;

2) включить стенд – перевести переключатель $S2$ в положение «I»;

3) подключить корпус 1 и корпус 2 к сети – переключить автоматические выключатели $S5$ и $S10$ в положение 1;

4) переключателем $S13$ произвести замыкание фазного провода на корпус 2;

5) вольтметром с помощью гибких проводников измерить напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда $X1$ и $X2$) и корпусов относительно земли (гнезда $X4$ и $X2$, $X8$ и $X2$, $X11$ и $X2$). При измерении каждого параметра установить исходное положение переключателя шкалы вольтметра – 2000. При малом значении измеряемого параметра переключатель шкалы установить на 200, 20 или 2. При измерении напряжения переключатель амперметра должен находиться в положении *ОТКЛ*;

6) измерить ток короткого замыкания (положение переключателя амперметра – $A1$) и время срабатывания автомата защиты. Результаты измерений записать в таблицу;

7) выключить стенд – перевести переключатель $S2$ в положение 0 ;

8) подключить повторное заземление РЕ-проводника – установить переключатель $S17$ в положение 1 ;

9) установить значение сопротивления $R_{\text{п}} = 4 \text{ Ом}$;

10) включить стенд – перевести переключатель $S2$ в положение 1 ;

11) в соответствии с заданиями пп. 4–6 измерить напряжение на корпусах, нулевой точки относительно земли, а также время срабатывания и ток короткого замыкания;

12) установить переключатель амперметра в положение $A3$ и измерить ток замыкания на землю. Результаты измерений записать в таблицу;

13) отключить стенд – установить переключатель $S2$ в положение 0 ;

14) установить значения сопротивления $R_{\text{п}} = 10; 100 \text{ Ом}$, произвести измерения аналогично заданиям пп. 10–12.

15) выключить стенд – установить переключатель $S2$ в положение 0 ;

16) результаты измерений записать в таблицу.

Оценку эффективности повторного заземления при обрыве РЕ-проводника выполняют в следующем порядке:

1) отключить повторное заземление сопротивления $R_{\text{п}}$ от РЕ-проводника – установить переключатель $S17$ в положение 0 ;

2) произвести обрыв РЕ-проводника между корпусом 1 и корпусом 2 – перевести переключатель $S12$ в положение 0 ;

3) включить стенд – установить переключатель $S2$ в положение 1 ;

4) включить автоматы защиты – перевести переключатели $S5$ и $S10$ в положение 1 ;

5) кнопкой $S13$ произвести замыкание фазного провода B на корпус 2 ;

6) вольтметром с помощью гибких проводников измерить напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда $X1$ и $X2$) и корпусов относительно земли (гнезда $X4$ и $X2$, $X8$ и $X2$, $X11$ и $X2$). При измерении напряжения переключатель амперметра должен находиться в положении *ОТКЛ*;

7) установив переключатель амперметра в положение $A3$, измерить ток замыкания на землю. Результаты измерений записать в таблицу.

8) выключить стенд – установить переключатель $S2$ в положение 0 ;

9) подключить повторное заземление к РЕ-проводнику – перевести переключатель $S17$ в положение 1 ;

10) установить значение сопротивления $R_{\Pi} = 4 \text{ Ом}$;

11) включить стенд – установить переключатель $S2$ в положение 1 ;

12) в соответствии с заданиями пп. 5–8 измерить напряжение на корпусах, нулевой точки относительно земли, а также ток замыкания на землю;

13) установить значения сопротивления $R_{\Pi} = 10; 100 \text{ Ом}$, измерить напряжение на корпусе 1 и корпусе 2 – U_{K1} и U_{K2} , короткого замыкания U_{K3} и тока замыкания на землю I_{Π} . Результаты измерений записать в таблицу;

14) выключить стенд – установить переключатель $S2$ в положение 0 ;

15) все переключатели перевести в исходное состояние.

Контрольные вопросы и задания

1. Объясните действие и область применения защитного зануления.

2. В чем заключается принципиальное отличие защитного заземления от зануления?

3. Объясните назначение нулевого защитного проводника.

4. Расскажите о назначении заземления нейтрали.

5. В чем состоит назначение повторного заземления защитного проводника?

Лабораторная работа № 11

«Анализ и оценка работоспособности устройства защитного отключения»

1. Краткие теоретические сведения

Устройство защитного отключения (УЗО) – механический коммутационный аппарат или совокупность элементов, которые при достижении (превышении) дифференциальным током заданного значения при определенных условиях эксплуатации должны вызвать размыкание контактов. УЗО может состоять из различных отдельных элементов, предназначенных для обнаружения, измерения (сравнения с заданной величиной) дифференциального тока, замыкания и размыкания электрической цепи (разъединителя) (рис. 11.1).



Рис. 11.1. Внешний вид устройства защитного отключения производства

Широкое применение также получили комбинированные устройства, совмещающие в себе УЗО и устройство защиты от сверхтока, такие устройства называются УЗО-Д со встроенной защитой от сверхтоков либо просто дифавтомат. Часто дифавтоматы снабжаются специальной индикацией, позволяющей определить, по какой причине произошло срабатывание (от сверхтока или дифференциального тока).

УЗО обеспечивают защиту от поражения электрическим током:

- при косвенном прикосновении, т.е. прикосновении человека к открытым проводящим нетоковедущим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением в случае повреждения изоляции;

- при прямом прикосновении, т.е. непосредственном прикосновении человека к токоведущим частям электроустановки, находящимся под напряжением.

Кроме того, специальные УЗО могут выполнять функции противопожарной защиты, контролируя токи утечки в электрической сети и отключая электропитание при недопустимом снижении сопротивления изоляции.

УЗО может значительно улучшить безопасность электроустановок, но оно не может полностью исключить риск поражения электрическим током или пожара. УЗО не реагирует на аварийные ситуации, если они не сопровождаются утечкой из защищаемой цепи. В частности УЗО не реагирует на короткие замыкания между фазами и нейтралью. УЗО также не сработает, если человек оказался под напряжением, но утечки при этом не возникло, например, при прикосновении пальцем одновременно и к фазному, и к нулевому проводникам. Предусмотреть электрическую защиту от таких прикосновений невозможно, так как нельзя отличить протекание тока через тело человека от нормального протекания тока в нагрузке. В подобных случаях используют механические защитные меры (изоляция, непроводящие кожухи и т.п.), а также отключение электроустановки перед ее обслуживанием.

Наибольшее распространение получили УЗО с дифференциальным трансформатором тока (ДТТ), в котором первичной обмоткой являются токоведущие проводники питающей линии, проходящие через окно тороидального магнитопровода либо образующие на нем несколько витков. Принцип работы УЗО основан на измерении баланса токов I_1 , I_2 между входящими в него токоведущими проводниками с помощью ДТТ (рис. 11.2).

В нормальном режиме ток, «втекающий» по одним проводникам, должен быть равен току, «вытекающему» по другим, т.е. сумма токов, проходящих через УЗО равна нулю (точнее, сумма не должна превышать допустимое значение) а наводимые ими магнитные потоки взаимно скомпенсированы: $\Phi_1 = \Phi_2$.

В случае прикосновения человека к корпусу электроприемника с поврежденной изоляцией через него будет протекать ток I_h , т.е. в точ-

ке прикосновения баланс токов будет нарушен: $I_2 = I_1 + I_h$. Магнитные потоки в этом случае также не будут равны между собой: $\Phi_1 \neq \Phi_2$, и во вторичной обмотке наведется ток, пропорциональный току через человека,

$$I_{BT} = k_T \cdot I_h,$$

где k_T – коэффициент трансформации.

УЗО немедленно размыкает все входящие в него контактные группы, отключая неисправную нагрузку. Если сумма превышает допустимое значение, это означает, что часть тока проходит помимо УЗО, т.е. контролируемая электрическая цепь неисправна: в ней имеет место утечка.

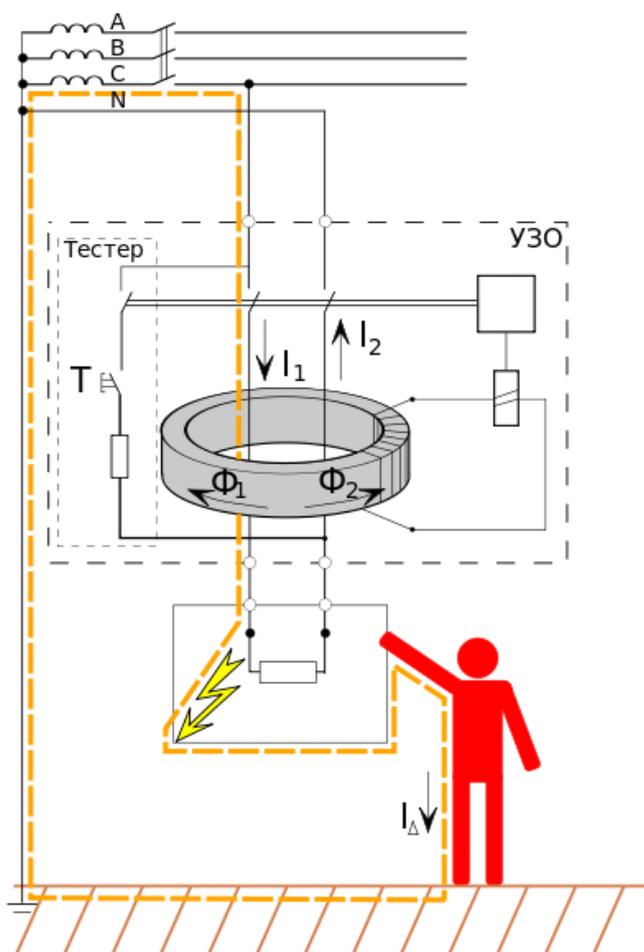


Рис. 11.2. Принцип работы устройства защитного отключения

Такой же результат будет при соединении корпуса электроприемника с защитным проводником. В этом случае ДТТ будет реа-

гировать на появление тока утечки из-за снижения сопротивления изоляции вне зависимости от прикосновения человека. Разность рабочих токов из-за появления тока утечки называют дифференциальным током:

$$I_{\Delta} = I_2 - I_1.$$

Значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации, называют **номинальным отключающим дифференциальным током** $I_{\Delta n}$; его выбирают из следующего ряда: 6, 10, 30, 100, 300, 500 мА (есть УЗО с током $I_{\Delta n} = 1, 1,5$ А и более).

Согласно ПУЭ номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ должен не менее чем в три раза превышать суммарный ток утечки защищаемой цепи электроустановки I_{Δ} , т.е. $I_{\Delta n} \geq 3 I_{\Delta}$.

В соответствии с требованиями ПУЭ принимают ток утечки электроприемников из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки цепи – из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного провода.

Значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации, называют **номинальным неотключающим дифференциальным током** $I_{\Delta n0}$:

$$I_{\Delta n0} = 0,5 I_{\Delta n}.$$

На рисунке 11.3 показано внутреннее устройство одного из типов УЗО, предназначенное для установки в разрыв шнура питания; его отключающий дифференциальный ток равен 30 мА.

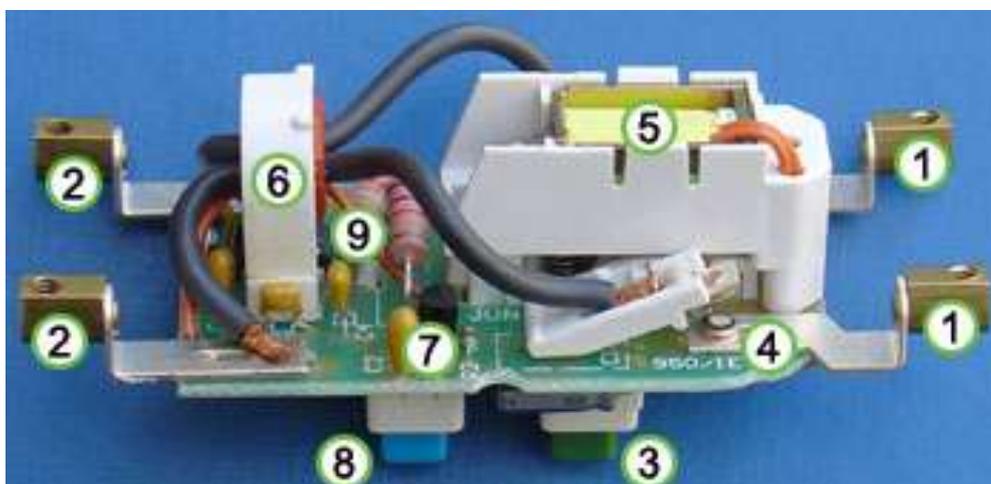


Рис. 11.3. Внутреннее устройство одного из типов УЗО

Данное устройство является УЗО со вспомогательным источником питания, выполняющим автоматическое отключение при отказе вспомогательного источника. Это означает, что УЗО может быть включено только при наличии питающего напряжения, при пропадании напряжения оно автоматически отключается (такое поведение повышает безопасность устройства). Фазный и нулевой проводники от источника питания подключаются к контактам 1, нагрузка УЗО подключается к контактам 2. Проводник защитного заземления (РЕ-проводник) к УЗО никак не подключается. При нажатии кнопки 3, контакты 4, а также еще один контакт, скрытый за узлом 5, замыкаются, и УЗО пропускает ток. Соленоид 5 удерживает контакты в замкнутом состоянии после того как кнопка отпущена. Катушка 6 на тороидальном сердечнике является вторичной обмоткой дифференциального трансформатора тока, который окружает фазный и нулевой проводники. В нормальном состоянии ток, текущий по фазному проводнику, точно равен току, текущему по нулевому проводнику, однако эти токи противоположны по направлению. Таким образом, токи взаимно компенсируют друг друга и в катушке дифференциального трансформатора тока ЭДС отсутствует.

Любая утечка тока из защищаемой цепи на заземленные проводники приводит к нарушению баланса в трансформаторе тока: через фазный проводник «втекает больше тока», чем возвращается по нулевому (часть тока утекает через тело человека, т.е. помимо трансформатора). Несбалансированный ток в первичной обмотке трансформатора тока приводит к появлению ЭДС во вторичной обмотке. Эта ЭДС сразу же регистрируется следящим устройством 7, которое отключает питание соленоида 5. Отключенный соленоид больше не удерживает контакты 4 в замкнутом состоянии, и они размыкаются под действием силы пружины, обесточивая неисправную нагрузку. Устройство спроектировано таким образом, что отключение происходит за доли секунды, что значительно снижает тяжесть последствий от поражения электрическим током. Кнопка проверки 8 позволяет проверить работоспособность устройства путем пропускания небольшого тока через оранжевый тестовый провод 9. Тестовый провод проходит через сердечник трансформатора тока, поэтому ток в тестовом проводе эквивалентен нарушению баланса токонесущих проводников, т.е. УЗО должно отключиться при нажатии на кнопку проверки. Если УЗО не отключилось, оно неисправно и должно быть заменено.

УЗО классифицируют по способу установки, числу полюсов, виду защиты от сверхтоков и перегрузок по току, способу действия и функционирования, возможности регулирования отключающего дифференциального тока.

По способу установки УЗО бывают:

- стационарными, с монтажом стационарной электропроводкой;
- переносными, с монтажом гибкими проводами с удлинителями.

По числу полюсов различают УЗО:

- однополюсные;
- двухполюсные с двумя защищенными полюсами;
- двухполюсные трехпроводные;
- трехполюсные с защитой от сверхтоков;
- трехполюсные четырехпроводные;
- четырехполюсные с четырьмя защищенными полюсами.

По виду защиты от сверхтоков и перегрузок по току:

- без встроенной защиты от сверхтоков (выключатели дифференциального тока);
- со встроенной защитой от сверхтоков (дифференциальные автоматические выключатели, дифференциальные автоматы).

По способу действия УЗО бывают:

- без вспомогательного источника питания;
- со вспомогательным источником питания.

По условиям функционирования при наличии составляющей постоянного тока:

- УЗО типа АС – УЗО, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно либо медленно возрастающий;

- УЗО типа А – УЗО, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток, возникающие внезапно либо медленно возрастающие.

УЗО должно срабатывать до того как электрический ток, проходящий через организм человека, вызовет фибрилляцию сердца – наиболее частую причину смерти при поражении электрическим током. Максимально допустимое время отключения УЗО типа АС и А не должно превышать значений, приведенных ниже.

Максимально допустимое время отключения УЗО

Кратность отключающего дифференциального тока	$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	500
Время отключения, с	0,3	0,15	0,04	0,04

УЗО типа В (УЗО реагирует на переменный, постоянный и выпрямленный дифференциальные токи).

По возможности регулирования отключающего дифференциального тока УЗО бывают нерегулируемыми и регулируемыми.

По наличию задержки во времени различают:

- УЗО без выдержки времени;
- УЗО типа S – селективное (с выдержкой по времени отключения должно обеспечивать селективную работу УЗО, установленного в многоуровневой схеме).

Допустимое время отключения и неотключения для УЗО типа S не должно превышать значений, приведенных ниже.

Максимально допустимое время отключения и неотключения УЗО

Дифференциальный ток	$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	500
Максимальное время отключения, с	0,5	0,2	0,15	0,15
Максимальное время неотключения, с	0,13	0,06	0,05	0,04

УЗО создаются на различных принципах действия и имеют несколько модификаций, различающихся основными параметрами. Обозначение модификации состоит из буквы и четырех цифр.

Буква (К или Ф) указывает на материал и особенности конструкции корпуса, а также термическую стойкость устройства: К – 6 кА, Ф – 10 кА.

Первая цифра обозначает номинальный ток устройства:

- 1 – 16 А; 2 – 25 А; 3 – 40 А; 4 – 63 А.

Вторая цифра – уставка срабатывания по току утечки:

- 1 – 10 мА; 2 – 30 мА; 3 – 100 мА.

Третья цифра указывает на род тока (1 – переменный, 2 – выпрямленный).

Четвертая цифра обозначает число полюсов устройства (1 – двухполюсное, 2 – четырехполюсное).

Например, устройство защитного отключения модификации Ф-3211 означает: УЗО с номинальным током 40 А, уставкой срабатывания 30 мА, для переменного тока, двухполюсное, термическая стойкость 10 кА.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Цель лабораторной работы: ознакомление с принципом действия УЗО.

Содержание лабораторной работы:

- определить уставку, время срабатывания УЗО и сделать выводы об их соответствии первичным критериям электробезопасности в соответствии с ПУЭ;

- определить работоспособность УЗО совместно с занулением.

Лабораторный стенд, представленный на рисунке 11.4, позволяет моделировать источник питания сети, трехфазный потребитель электроэнергии, подключенный к сети с использованием УЗО, реагирующего на остаточный ток.

Лабораторный стенд включается автоматом $S2$ – положение переключателя автомата I , при этом загораются индикаторы желтого, зеленого и красного цветов, расположенные на линиях фазных проводов А, В и с соответственно.

Значения активных сопротивлений (R_{AE} , R_{BE} , R_{CE} , R_{PEN}) и емкостей (C_{AE} , C_{BE} , C_{CE} , C_{PEN}) фазных проводов А, В, С и PEN-провода относительно земли могут изменяться с помощью переключателей $S4$ – $S10$ в зависимости от вариантов, задаваемых преподавателем.

Переключатели предназначены:

- $S1$ – для изменения режима нейтрали исследуемой сети: нижнее положение – изолированная нейтраль, правое – заземленная нейтраль;

- $S3$ – для подключения PEN-провода;

- $S12$, $S14$ – для моделирования аварийных режимов работы исследуемой сети (положение 0 переключателя $S12$ соответствует нормальному режиму работы сети).

Положения А, В, С, переключателя $S12$ соответствуют замыканию фазных проводов А, В, С на землю; при этом сопротивление растеканию тока в месте замыкания на землю R_{3M} может принимать различные значения.

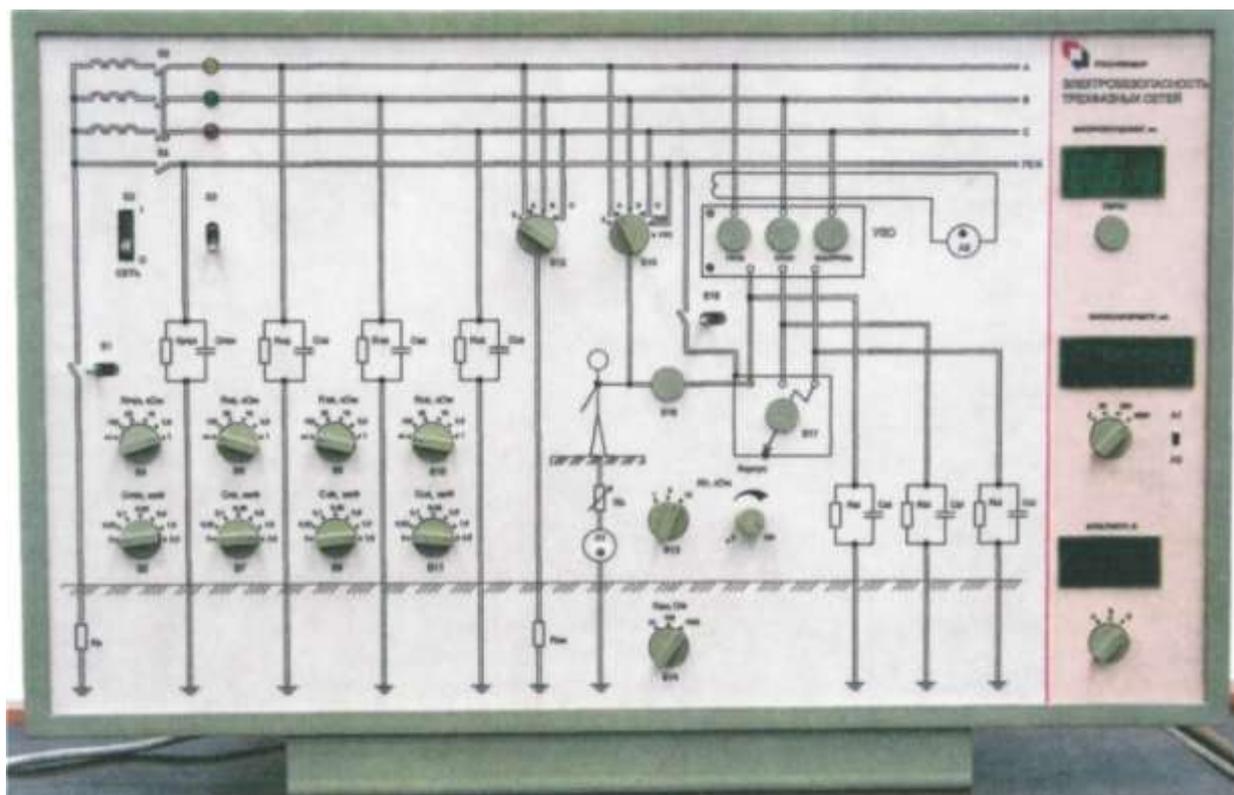


Рис. 11.4. Лабораторный стенд

Изменяя положение переключателя $S14$, можно выставить различные значения (10, 100 и 1000 Ом) сопротивления R_{3M} растеканию тока.

Тело человека имитируется в схеме лабораторного стенда резистором R_h , который может подключаться к каждому проводу сети или к каждому проводу на стороне трехфазного потребителя электроэнергии, подключенного к сети через УЗО.

Переключатель $S15$ предназначен для прямого прикосновения человека к токоведущей части (проводу исследуемой сети). Положение 0 переключателя – человек не касается фазного провода сети.

Положения A, B, C, PEN переключателя $S15$ – человек касается соответственно фазных проводов сети A, B, C или PEN-провода. Положение УЗО переключателя $S15$ – человек касается фазного провода сети на стороне трехфазного потребителя электроэнергии при нажатой кнопке $S16$, при этом на лицевой панели УЗО загорается желтый индикатор.

Значение сопротивления цепи человека может быть задано дискретно (1,5 или 10 кОм) с помощью переключателя $S13$ либо плавно в пределах от 0 до 100 кОм с помощью резистора R_h . Установка дис-

кретных значений производится переключателем при установке ручки резистора в фиксированное положение – 0.

Трехфазный потребитель электроэнергии показан на лицевой панели лабораторного стенда в виде корпуса, подключенного к сети с помощью УЗО, реагирующего на остаточный ток. Корпус трехфазного потребителя электроэнергии может быть занулен с помощью переключателя *S18* (положение *1*).

С помощью кнопки *S17* моделируется замыкание фазного провода на корпус. При нажатой кнопке загорается красный индикатор на корпусе трехфазного потребителя электроэнергии.

На лицевой панели УЗО расположены кнопки:

- ПУСК – при нажатой кнопке трехфазный потребитель подключается к сети и загорается зеленый индикатор на панели УЗО;
- СТОП – отключение трехфазного потребителя от сети;
- КОНТРОЛЬ – оперативный контроль УЗО.

Значения активных сопротивлений (R_{A1} , R_{B1} , R_{C1}) и емкостей (C_{A1} , C_{B1} , C_{C1}) фазных проводов *A*, *B*, *C* относительно земли в зоне защиты УЗО установлены в стенде и не меняются в процессе выполнения лабораторной работы.

В правой части лицевой панели УЗО размещены индикаторы трех цифровых приборов:

- миллисекундомера для измерения времени срабатывания УЗО, мс (срабатывает при нажатой кнопке *S16*, кнопка *СБРОС* отключает аварийные режимы и обнуляет показания прибора);
- миллиамперметра для измерения тока в цепи человека – положение *A1* и уставки УЗО – положение *A2*;
- вольтметра – для измерения напряжений фазных проводов *A*, *B*, *C* относительно земли (подключение прибора к фазным проводам осуществляется с помощью переключателя *A*, *B*, *C*).

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать следующие требования безопасности:

- к работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда;
- перед эксплуатацией лабораторный стенд должен быть заземлен, для чего используется элемент заземления с обозначением *ЗЕМЛЯ*. Присоединение к шине заземления должно быть выполнено медным проводом сечением не менее 2,5 мм²;
- к работам по монтажу и проверке лабораторного стенда допускаются студенты, обученные методам безопасной работы с электро-

оборудованием напряжением до 1 кВ в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей;

- во избежание поражения электрическим током лабораторный стенд при вскрытии должен быть отключен от сети.

Определение уставки и времени срабатывания УЗО производится в такой последовательности:

1) установите значение параметров сети с заземленной нейтралью – переключатели $S6-S11$. Переключатель $S1$ установите в положение – 1 , $S12$ – в положение 0 ;

2) установите переключатель $S15$ в любое из трех положений A , B , C ;

3) установите переключатель $S13$ в положение 1 кОм, а ручку резистора R_h – в положение 100 ;

4) включите лабораторный стенд – переведите $S2$ в положение 1 ;

5) измерьте длительно допустимый ток через тело человека. Для этого плавно вращайте против часовой стрелки ручку резистора R_h , увеличивая ток I_h . Зафиксируйте значение тока I_h , соответствующее загоранию индикатора, расположенного на схематичном изображении человека. Ток через тело человека измеряется с помощью миллиамперметра с пределом измерения 20 мА. Положение переключателя миллиамперметра – $A1$;

6) отключите лабораторный стенд – переведите $S2$ в положение 0 ;

7) установите переключатель $S15$ в положение $УЗО$, переключатель $S18$ – в положение 0 ;

8) включите лабораторный стенд – переведите $S2$ в положение 1 , при этом загорается желтый индикатор на панели $УЗО$;

9) включите $УЗО$ нажатием кнопки *ПУСК*, при этом загорается зеленый индикатор на панели $УЗО$. После нажатия кнопки $S16$ плавным вращением ручки резистора R_h увеличивайте значение дифференциального тока, являющегося входным сигналом для заданного типа $УЗО$. Значение дифференциального тока, при котором произойдет срабатывание $УЗО$, будет соответствовать току уставки. Значение тока уставки измеряется на пределе 200 мА по миллиамперметру – положении переключателя $A2$. При срабатывании $УЗО$ зеленый индикатор на его панели погаснет;

10) включите $УЗО$ нажатием кнопки *ПУСК*;

11) измерьте значение времени срабатывания УЗО по миллисекундомеру, нажав кнопку *S16*, имитируя при этом прикосновение человека к фазному проводу в зоне защиты УЗО;

12) отключите лабораторный стенд – переведите *S2* в положение 0.

Определение работоспособности УЗО совместно с занулением производится следующим образом:

1) занулите корпус трехфазного потребителя электроэнергии (переключатель *S18* в положение 1);

2) включите лабораторный стенд – переведите *S2* в положение 1;

3) включите УЗО нажатием кнопки ПУСК на его лицевой панели;

4) замкните фазный провод на корпус трехфазного потребителя электроэнергии, нажав кнопку *S17*. При этом загорается красный индикатор на корпусе. УЗО должно сработать, за определенное время отключив от сети потребителя электроэнергии;

5) отключите лабораторный стенд – переведите *S2* в положение 0;

6) сделайте выводы об эффективности защитного отключения сети при заданных параметрах УЗО в сети в зависимости от типа применяемого оборудования и условий поражения человека электрическим током.

Контрольные вопросы и задания

1. Объясните принцип действия УЗО.
2. В чем заключается отличие УЗО от защитного зануления?
3. Расшифруйте обозначение модификации УЗО – К-4311.
4. Область применения УЗО.
5. Какие факторы влияют на классификацию УЗО?
6. В каких случаях УЗО выполняют противопожарную функцию?
7. Что такое дифференциальный ток?

Лабораторная работа № 12 «Исследование электромагнитного поля, создаваемого телефонами сотовой связи»

1. Краткие теоретические сведения

В отличие от ионизирующих излучений, которые создают электрические заряды, электромагнитные излучения (ЭМИ) не обладают такой способностью, они воздействуют на уже имеющиеся в организме человека заряды и диполи.

Впервые механизм влияния ЭМИ радиочастотного диапазона на слуховой анализатор объяснил американский нейрофизиолог Алан Фрей. По его мнению, микроволновые излучения воздействуют на участки вокруг улитки и поглощаются тканями внутреннего уха, вызывая его термальное расширение. При этом возникают ударные волны, воспринимаемые человеком как звук, который больше никому не слышен.

Мобильный (сотовый) телефон – устройство, которое генерирует и принимает высокочастотные электромагнитные волны в диапазоне от 450 до 1800 МГц. Излучение электромагнитных волн во всех направлениях в мобильном телефоне происходит антенной.

Воздействие электромагнитной волны на биологический организм характеризуется такими физическими величинами, как длина волны, частота колебаний, интенсивность, мощность энергии излучения, а также глубиной их проникновения в ткани.

Электромагнитные волны переносят энергию электромагнитного поля. Поток энергии электромагнитной волны, проходящей через поверхность площадью S за время t , называется мощностью излучения:

$$P = \Delta W / \Delta t, \quad (12.1)$$

где ΔW – поток энергии электромагнитной волны.

Разделив обе части выражения на величину площади S , получим плотность потока энергии электромагнитной волны:

$$\omega = P / (S \cdot C), \quad (12.2)$$

где C – скорость света в вакууме.

Общая плотность потока энергии (ППЭ) электромагнитной волны представляется как сумма электрической и магнитной ее составляющих:

$$\omega = \omega_{\text{Э}} + \omega_{\text{М}} = (\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2) + [B^2/(2 \cdot \mu \cdot \mu_0)] = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2. \quad (12.3)$$

Усредненное во времени значение величины плотности потока энергии называется интенсивностью волны:

$$I = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot (E^2)_{\text{СР}} \cdot C, \quad (12.4)$$

где ε_0 – электрическая постоянная; ε – диэлектрическая проницаемость среды, для воздуха $\varepsilon = 1,05$; E – напряженность электрического поля:

$$E = U/L, \quad (12.5)$$

где U – напряжение, создаваемое в проводнике под действием электромагнитной волны, В; L – длина проводника, м.

Подставляя выражение (12.5) в (12.4), получим величину интенсивности излучения электромагнитной волны:

$$I = 0,5 \cdot C \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U^2/L^2, \text{ Вт/м}^2. \quad (12.6)$$

Глубину проникновения электромагнитной волны в биологический организм можно оценить по формуле

$$d = C \cdot (2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot f \cdot \delta)^{-1/2}, \text{ м}, \quad (12.7)$$

где δ – проводимость ткани организма; μ – магнитная проницаемость материала ткани организма; f – частота электромагнитной волны, Гц.

Исследования в области биологического воздействия ЭМП позволили определить наиболее чувствительные к нему системы организма человека: нервная, иммунная, эндокринная и половая.

Результатом продолжительного воздействия ЭМП даже относительно слабого уровня могут быть онкологические заболевания, изменение поведения, склонность к стрессу, бессонница, потеря памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера, бронхит, астма, синдром внезапной смерти ребенка, угнетение половой функции, аритмия, миг-

рень, хроническая усталость и многие другие состояния, включая повышение числа самоубийств в крупных городах. Доказано, что воздействие ЭМП негативно сказывается на кровообращении головного мозга. Особую опасность воздействие ЭМП представляют для развивающегося организма в утробе матери (эмбриона) и детей, а также для людей, подверженных аллергическим заболеваниям, поскольку они обладают исключительно большой чувствительностью к ЭМП.

При использовании сотовых телефонов излучение в мозгу поглощается неравномерно, поэтому могут образоваться «горячие точки». При использовании телефона с пиковой мощностью $P = 2$ Вт и рабочей частотой 900 МГц напряженность поля в головном мозге составляет от 20 до 30 В/м, а плотность мощности – от 120 до 230 мкВт/см².

Для всех диапазонов частот сотовой связи нормируемая ППЭ составляет 100 мкВт/см².

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Цель лабораторной работы: овладеть знаниями, умениями и навыками, связанными с определением интенсивности ЭМП, создаваемыми сотовыми телефонами, научиться измерять и объективно оценивать уровень электромагнитного поля.

При выполнении лабораторной работы используется магнитометр учебный (рис. 12.1).



Рис. 12.1. Магнитометр учебный

Сигнал, принятый дипольной антенной, детектируется диодным мостиком, а получившийся постоянный ток поступает на измери-

тельный прибор. От выбора диодов зависит чувствительность измерительного прибора (чувствительный стрелочный вольтметр).

Для получения максимальной чувствительности измерительный прибор подключен непосредственно к выводам моста. В случае, когда стрелка измерительного прибора зашкаливает, последовательно с ним надо включить добавочный резистор. Например, с микроамперметром на 10 мкА и резистором 100 кОм получаем вольтметр, рассчитанный на измерение напряжений до 1 В, с резистором 1 МОм – до 10 В.

Порядок выполнения лабораторной работы:

- 1) изучите принцип действия измерительного прибора;
- 2) снимите показание прибора приемника U не менее чем для трех фиксированных расстояний для разных моделей сотовых телефонов. Результаты измерений занесите в таблицу;
- 3) рассчитайте длину волны излучения

$$\lambda = C/f, \text{ м.}$$

Результаты измерения

Модель сотового телефона	U , В	λ , м	f , Гц	L , м	I , Вт/м ²	d , м	Расстояние до излучателя R , м	Безопасное расстояние $R_{\text{БЕЗ}}$, м

- 4) определите интенсивность излучения по формуле (12.6);
- 5) вычислите глубину проникновения электромагнитного излучения в головной мозг человека по формуле (12.7);
- 6) сравните полученные результаты с санитарно-гигиеническими нормативами воздействия электромагнитного излучения на организм человека;
- 7) сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой мобильная связь?
2. Каково влияние электромагнитных полей на здоровье человека?
3. Перечислите количественные параметры, характеризующие электромагнитное излучение от сотового телефона и единицы их измерения.
4. В чем заключается принцип работы магнитометра?

Лабораторная работа № 13

«Исследование температуры вспышки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей»

1. Краткие теоретические сведения

В ряде технологических процессов применяют легковоспламеняющиеся и/или горючие жидкости, которые в соединении с воздухом способны сформировать взрывоопасную среду смеси и поддерживать распространение пламени. Эта потенциальная опасность, связанная с взрывоопасной средой, возникает при появлении активного источника воспламенения, например:

- нагретые поверхности. Если взрывоопасная среда входит в контакт с нагретой поверхностью, может произойти воспламенение. Источником воспламенения может быть и слой пыли или горючее твердое вещество, находящееся во взаимодействии с горячей поверхностью и воспламеняемое горячей поверхностью;

- пламя, горячие газы, горячие частицы;

- искры, образованные механическим путем, например, в результате процессов трения, соударения или истирания;

- электрооборудование (может быть источником искр из-за блуждающих токов, при замыкании, размыкании электрических цепей и др.);

- статическое электричество;

- атмосферное электричество;

- электромагнитные волны с диапазоном частот от 10^4 до $3 \cdot 10^{12}$ Гц.

Все электропроводящие части, расположенные в поле излучения, действуют как принимающие антенны. Если электромагнитное поле имеет достаточную мощность и принимающая антенна будет достаточно большой, то такие электропроводящие части могут вызывать воспламенение взрывоопасных сред. Полученная электромагнитная энергия может, например, накалять тонкие провода или производить искры при замыкании или размыкании электропроводящих частей;

- электромагнитные волны с диапазоном частот от $3 \cdot 10^{11}$ до $3 \cdot 10^{15}$ Гц. Излучение в этом диапазоне, особенно если оно сфокусировано (например, как при лазерном излучении), может стать источником воспламенения через его поглощение взрывоопасными средами или твердыми поверхностями;

- ионизирующее излучение, генерируемое, например, рентгеновскими трубками и радиоактивными веществами, может привести к воспламенению взрывоопасных сред (особенно взрывоопасных

сред с частицами пыли) в результате поглощения энергии. Сам источник радиоактивного излучения может нагреваться вследствие внутреннего поглощения лучевой энергии до такой степени, что минимальная температура воспламенения окружающей взрывоопасной среды будет превышена;

- ультразвуковые волны (значительная доля энергии поглощается твердыми или жидкими веществами и вещество, подвергнутое воздействию ультразвуковых волн, нагревается настолько, что может стать источником воспламенения) и др.

Основным параметром, который характеризует опасность жидкостей, является *температура вспышки* – наименьшая температура, при которой внесенный извне в паровое пространство над жидкостью источник зажигания вызывает быстрое сгорание паров, но при удалении источника зажигания горение прекращается. В зависимости от температуры вспышки жидкости подразделяют на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) с температурой вспышки менее 61°C и горючие жидкости (ГЖ) – с температурой вспышки выше 61°C.

Температуру вспышки используют при категорировании помещений по взрывопожарной и пожарной опасности и для обеспечения пожарной безопасности технологических процессов.

Для обеспечения безопасности устанавливают пожароопасные и взрывоопасные зоны.

Пожароопасная зона – пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

Условное обозначение таких зон – «П» (пожароопасная).

Пожароопасные зоны классифицируют:

- на зоны класса П-I – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°C;

- зоны класса П-II – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяется горючая пыль или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м³ к объему воздуха;

- зоны класса П-IIa – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества;

- зоны класса П-III – расположенные вне помещения зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°C или твердые горючие вещества.

В пожароопасных зонах допускается использовать только пожарозащищенное электрооборудование.

Взрывоопасная зона – часть замкнутого или открытого пространства, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие вещества и где они могут находиться при нормальном режиме технологического процесса или его нарушении (аварии).

Взрывоопасные зоны подразделяются на классы 0, 1, 2 в зависимости от частоты и длительности присутствия взрывоопасной газовой смеси и на классы 20, 21, 22 – в зависимости от частоты и длительности присутствия облака горючей пыли, волокон и летучих частиц в воздухе:

- 0-й класс – зоны, в которых взрывоопасная газовая смесь присутствует постоянно или хотя бы в течение одного часа;

- 1-й класс – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются горючие газы или пары ЛВЖ, образующие с воздухом взрывоопасные смеси;

- 2-й класс – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварии или повреждения технологического оборудования;

- 20-й класс – зоны, в которых взрывоопасные смеси горючей пыли с воздухом имеют НКПВ менее 65 г/м^3 и присутствуют постоянно;

- 21-й класс – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна, способные образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при концентрации 65 г/м^3 и менее;

- 22-й класс – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования не образуются взрывоопасные смеси горючих пылей или волокон с воздухом при концентрации 65 г/м^3 и менее, но возможно образование такой взрывоопасной смеси горючих пылей или волокон с воздухом только в результате аварии или повреждения технологического оборудования.

Во взрывоопасных зонах допускается использовать только взрывозащищенное электрооборудование.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа выполняется на анализаторе ТВО-ЛАБ-01 (рис. 13.1), который состоит из основания, тигеля, камеры нагрева, мешалки с приводом, газовой горелки и дисплея.

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдать следующие требования безопасности:

- к работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством анализатора ТВО-ЛАБ-01;

- включать установку в работу только после разрешения преподавателя;

- после окончания экспериментов необходимо выключить анализатор ТВО-ЛАБ-01 и привести рабочее место в порядок.

Порядок работы на анализаторе ТВО-ЛАБ-01:

- выбирается одна из заданных испытательных программ, соответствующая анализируемой жидкости;

- тигель с образцом помещается в камеру нагрева, привод мешалки устанавливается в рабочее положение, поджигается тестовое пламя газовой горелки;

- нажатием клавиши *ПУСК* начинается процесс нагрева пробы анализируемой жидкости.

В ходе измерений проба нагревается автоматически с требуемой скоростью $5-6^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ по ГОСТ 4333 и вводит в тигель испытательное пламя от газовой горелки по выбранной программе. Каждый раз перед внесением горелки в пары анализируемой жидкости для привлечения внимания студента прибор подает звуковой сигнал. Температура вспышки исследуемой анализируемой жидкости отображается на дисплее.

Момент вспышки анализируемой жидкости определяется визуально, при этом студент нажимает кнопку *СТОП*.

При нажатии кнопки *СТОП* на дисплее отображается температура вспышки анализируемой жидкости.



Рис. 13.1. Внешний вид анализатора ТВО-ЛАБ-01

Содержание отчета:

- описание лабораторной установки;
- название анализируемой жидкости;
- экспериментальное значение температуры вспышки анализируемой жидкости;
- определение анализируемой жидкости с точки зрения ее взрывопожарной и пожарной опасности.

Контрольные вопросы и задания

1. Для промывки изделий вручную в качестве растворителя используется бензин Б-70, его параметры: температура пламени – 1200°C; температура вспышки – -34°C; плотность – 745 кг/м³. Определите класс взрывоопасной зоны.

2. Источником утечки паров ацетона (СН₃)₂СО в помещение является поврежденный фланец. Температура вспышки ацетона – менее (-20°C). Охарактеризуйте ацетон с точки зрения взрывопожарной и пожарной опасности.

3. Как утечки ЛВЖ и ГЖ влияют на классы взрывоопасных и пожароопасных зон?

Лабораторная работа № 14

«Исследование процесса тушения пламени в зазоре и выбор взрывозащищенного электрооборудования»

1. Краткие теоретические сведения

В ряде технологических процессов применяют легковоспламеняющиеся и/или горючие жидкости, которые в соединении с воздухом способны сформировать взрывоопасную среду смеси и поддерживать распространение пламени.

В ряде технологических процессов применяют горючие газы, жидкости и твердые дисперсные материалы, которые в соединении с воздухом образуют горючие смеси, способные воспламеняться от искр замыкания и размыкания электрических цепей и нагретых частей электрооборудования.

Для обеспечения безопасности устанавливают взрывоопасные зоны – часть замкнутого или открытого пространства, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие вещества и в котором они могут находиться при нормальном режиме технологического процесса или его нарушении (аварии).

Взрывоопасные зоны подразделяют на классы 0-й, 1-й, 2-й в зависимости от частоты и длительности присутствия взрывоопасной газовой смеси и на классы 20-й, 21-й, 22-й – в зависимости от частоты и длительности присутствия облака горючей пыли, волокон и летучих частиц в воздухе:

- 0-й класс – зоны, в которых взрывоопасная газовая смесь присутствует постоянно или хотя бы в течение одного часа;

- 1-й класс – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются горючие газы или пары ЛВЖ, образующие с воздухом взрывоопасные смеси;

- 2-й класс – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварии или повреждения технологического оборудования;

- 20-й класс – зоны, в которых взрывоопасные смеси горючей пыли с воздухом имеют НКПВ менее 65 г/м^3 и присутствуют постоянно;

- 21-й класс – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна, способные образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при концентрации 65 г/м^3 и менее;

- 22-й класс – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования не образуются взрывоопасные смеси горючих пылей или волокон с воздухом при концентрации 65 г/м^3 и менее, но возможно образование такой взрывоопасной смеси горючих пылей или волокон с воздухом только в результате аварии или повреждения технологического оборудования.

Во взрывоопасных зонах допускается использование только взрывозащищенного электрооборудования.

В узких каналах взрывозащищенного электрооборудования вследствие потерь тепла через стенки понижается температура в зоне реакции, уменьшается скорость распространения пламени. С уменьшением диаметра канала увеличивается отношение поверхности теплообмена к объему зоны реакции. Когда потери тепла достигнут критической величины, распространение пламени делается невозможным.

Ориентировочно тушащий зазор рассчитывают по формуле

$$\delta = \lambda \cdot P_B / (U_H \cdot C_p \cdot \rho), \text{ м,}$$

где λ – теплопроводность исходной смеси $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$; P_B – критерий Пекле (постоянен и равен ≈ 65); U_H – нормальная скорость распространения пламени, м/с ; C_p – удельная теплоемкость горючей смеси, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$; ρ – плотность горючей смеси, кг/м^3 .

Более точное значение величины тушащего зазора δ определяют экспериментально для каждой горючей смеси.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторную работу выполняют на установке, состоящей из корпуса 1 – толстостенного сосуда (бомбы), рассчитанного на давление 10,0 МПа (100 кгс/см²), системы 2 для продувания полостей сосуда воздухом и предохранительного щитка 3, системы зажигания горючей смеси 2 (рис. 14.1).

Бомба состоит из двух полостей – правой и левой (4, 5), каждая – объемом $V_{\text{П}} = 1,0$ л. В перегородке 6, разделяющей бомбу на полости, установлена коническая пробка 8 с резьбой на хвостовике 9. Хвостовик пробки ввернут в гайку 10 с лимбом, на который нанесены деления. Градуировка лимба – в миллиметрах. Выхлопной штуцер 13 имеет приспособление для установки разрывных мембран 15 из бумаги (кальки) или другого плотного материала.

Каждая полость через клапан 16 соединена с вентилятором 2 для продувки бомбы от продуктов сгорания. Продувка включается нажатием кнопки 22, при этом открываются клапаны в обе камеры и одновременно включается вентилятор 2 посредством микропереключателя. Поворотом гайки 10 с лимбом изменяют величину зазора между полостями бомбы. Методом проб определяют зазор, при котором горение смеси в левой полости бомбы не вызывает воспламенения горючей смеси в правой полости.

Зажигание горючей смеси происходит от искрового разряда между электродами свечей, установленными в левой и правой полостях – 25 и 26.

При выполнении лабораторной работы существует опасность удара электрическим током и ожога продуктами сгорания, выбрасываемыми через отверстие предохранительного щитка. С целью предупреждения удара электрическим током запрещается прикасаться к токоведущим частям (клеммам). Ожог продуктами сгорания предупреждается блокировкой зажигания и предохранительным щитком.

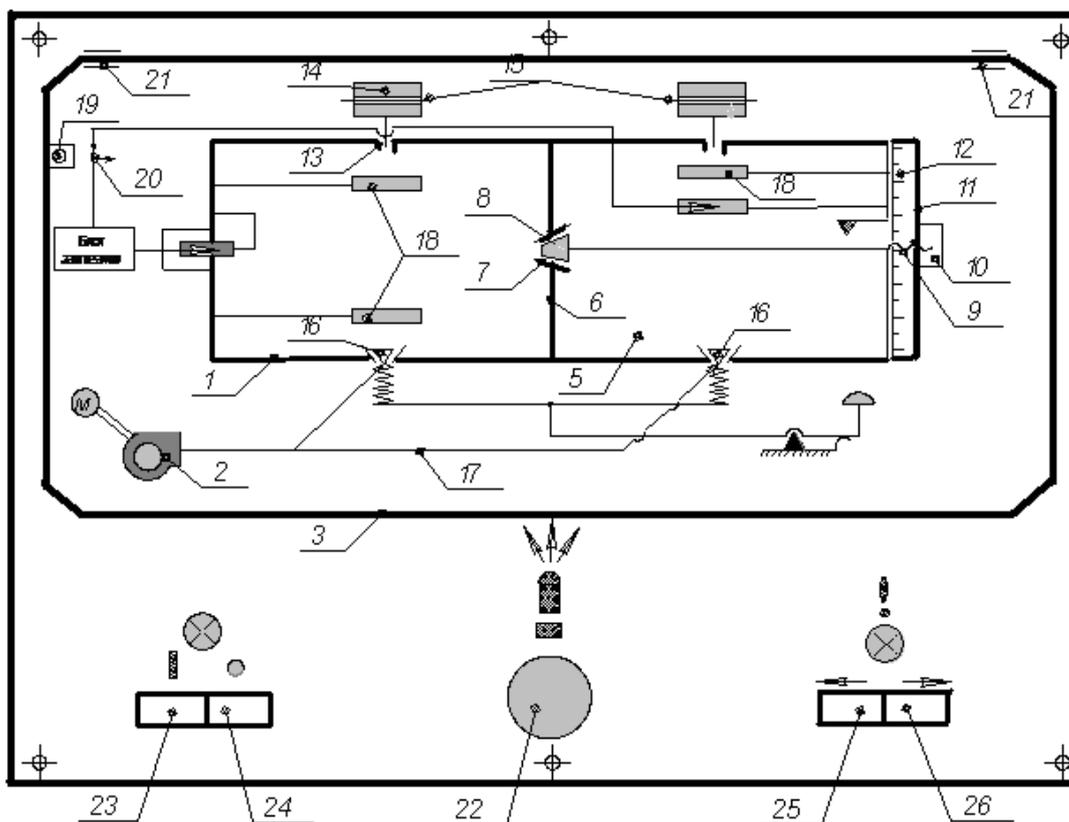


Рис. 14.1. Схема лабораторной установки:

1 – корпус бомбы; 2 – вентилятор; 3 – предохранительный щиток; 4 – полость, имитирующая электроустановку; 5 – полость, имитирующая помещение; 6 – перегородка; 7 – втулка; 8 – коническая пробка; 9 – хвостовик; 10 – гайка; 11 – диск; 12 – деления; 13 – выхлопной штуцер; 14 – пластинка; 15 – разрывная мембрана; 16 – клапан; 17 – трубопровод; 18 – выступ; 19 – стержень; 20 – конечный выключатель; 21 – фрикционная шайба; 22 – кнопка вентилятора; 23 – кнопка включения питания; 24 – кнопка выключения питания; 25 – кнопка зажигания в полости 4; 26 – кнопка зажигания в полости 5

Объем горючей жидкости, заливаемый в каждую полость бомбы для получения стехиометрической смеси, рассчитывают по формуле

$$V = C_{\text{СТ}} \cdot M \cdot V_{\text{П}} / (\rho_{\text{ГЖ}} \cdot V_{\text{ГЖ}}), \text{ мл},$$

где $C_{\text{СТ}}$ – стехиометрическая концентрация горючей жидкости в воздухе:

$$C_{\text{СТ}} = 100 / (1 + 4,84 \beta), \%$$

где β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения:

$$\beta = n_{\text{C}} + [n_{\text{H}} - n_{\text{X}}] / 4 - n_{\text{O}} / 2,$$

где n_C , n_H , n_X , n_O – число атомов углерода, водорода, галоидов и кислорода в молекуле горючей жидкости; M – молекулярная масса горючей жидкости; $\rho_{ГЖ}$ – плотность горючей жидкости, г/л; $V_{Г}$ – объем грамм-молекулы горючей жидкости, л.

Порядок проведения лабораторной работы:

1) рассчитать стехиометрическую концентрацию $C_{СТ}$ горючей жидкости в воздухе;

2) определить объем горючей жидкости V , необходимой для образования в полостях бомбы стехиометрической концентрации;

3) включить установку в сеть, нажав кнопку 24 включения питания;

4) продувать бомбу воздухом в течение 2 минут, нажав кнопку 22;

5) установить по лимбу рассчитанный зазор между полостями бомбы;

6) в каждую полость бомбы залить через выхлопные штуцера расчетный объем горючей жидкости;

7) закрыть отверстия выхлопных штуцеров мембранами из кальки;

8) для образования смеси горючей жидкости и воздуха в полостях бомбы дать выдержку 3 минуты;

9) опустить предохранительный щиток;

10) через 3 минуты после заливки горючей жидкости включить зажигание в левой полости 4 бомбы, нажав кнопку 25. При этом должен произойти взрыв горючей смеси в левой полости (регистрируется по разрыву мембраны из кальки). При величине зазора больше тушащего зажигание смеси в левой полости приводит к зажиганию смеси в правой полости (происходит разрыв мембраны из кальки в правой полости). Если величина зазора между полостями меньше тушащего, то взрыва смеси в правой полости не произойдет (мембрана на правом штуцере не разрушится). В этом случае, нажав кнопку 26, инициируйте контрольный взрыв в правой полости;

11) если эксперимент покажет, что расчетный зазор больше тушащего, необходимо следующий опыт провести с зазором на 0,05 мм меньше расчетного. Уменьшая зазор в каждом опыте на 0,05 мм, нужно найти такой зазор, при котором взрыва не произойдет при десятикратном повторении опыта.

Результаты расчетов и эксперимента занесите в таблицу. Сравните теоретическое и экспериментальное значение тушащего зазора.

Результаты эксперимента

Горючая жидкость		Стехиометрическая концентрация $C_{СТ}$, %		Результаты контрольного взрыва
		Результаты эксперимента		
Номер опыта	Величина зазора	Полость левая	Полость правая	
1				
2				
3				

Контрольные вопросы и задания

1. Для промывки изделий вручную в качестве растворителя используется бензин Б-70. Характеристики бензина: температура вспышки – (-34°C); температура пламени – 1200°C ; плотность – 745 кг/м^3 . Определите класс взрывоопасной зоны.

2. Источником утечки паров ацетона $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ в помещение является поврежденный фланец. Температура вспышки ацетона – менее (-20°C). Охарактеризуйте ацетон с точки зрения взрывопожарной и пожарной опасности.

3. Помещение насосной подсолнечного масла. Температура вспышки подсолнечного масла – 204°C . Поясните, присутствует ли в помещении взрывоопасная зона.

Лабораторная работа № 15

«Первичные средства пожаротушения, расчет грозозащиты объекта и пожарного запаса воды»

Цель работы: изучить принципы работы и устройство огнетушителей, порядок их проверки, ознакомиться с пожарной классификацией производственных процессов и зданий в зависимости от огнестойкости, с методикой расчетов пожарного запаса воды и молниеотводов.

Задание. 1. Изучить принципы действия, конструкции и методы проверки огнетушителей различных типов, имеющихся в лаборатории.

2. Испытать предохранительный клапан огнетушителя ОВП-100 на стенде и определить взвешиванием сохранность заряда огнетушителя ОУ-2.

3. Ознакомиться с методикой расчета пожарного запаса воды и выполнить этот расчет для индивидуального варианта исходных данных.

4. Ознакомиться с методикой определения высоты стержневых молниеотводов и рассчитать их для индивидуального варианта исходных данных.

Описание работы. Огнетушители – первичные технические средства тушения пожаров. По виду огнегасительного состава огнетушители подразделяются на 4 группы: жидкостные, пенные, газовые, порошковые.

В жидкостных применяют воду с добавками поверхностно-активных веществ или водные растворы различных химических соединений. В пенных используют водные растворы щелочи и кислоты, в воздушно-пенных – водные растворы пенообразователей. В газовых углекислотных применяют жидкую углекислоту, в аэрозольных – парообразующие огнегасительные вещества на основе галоидированных углеводородов. В порошковых применяют сухой порошок.

Любые жидкостные и пенные огнетушители не применяются для тушения электроустановок, находящихся под напряжением, а также веществ, горящих при воздействии на них водой (карбида кальция и щелочных металлов).

При выполнении лабораторной работы в дополнение к общей инструкции по охране труда необходимо соблюдать следующие меры безопасности:

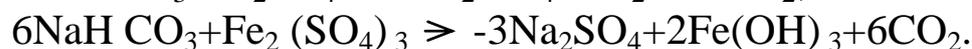
1. Запрещается разбирать огнетушители и приводить их в действие, срывать пломбы с огнетушителей и предохранительного клапана.

2. Не допускать падения огнетушителей, особенно при взвешивании. Нельзя оставлять в неустойчивом положении огнетушители, а также снятые детали и инструменты.

3. Запрещается превышать давление свыше 1 МПа при регулировке предохранительного клапана и вывинчивать предохранительный клапан из стенда при наличии давления в нем.

Химический пенный огнетушитель ОХП-10 (или ОХВП-10) состоит из сварного баллона, изготовленного из листовой углеродистой стали, переходника с горловиной, нижнего сферического днища, крышки, пластмассового стакана, закрывающегося резиновым кислотощелочестойким клапаном под действием пружины, штока, пропущенного через крышку огнетушителя. К штоку крепится рукоятка с профильным кулачком на конце. При помощи рукоятки клапан поднимается и опускается. Спрыск (сопло) огнетушителя расположен на горловине и закрыт специальной мембраной, предотвращающей выход заряда (кислоты и раствора щелочи) до их полного смешивания. Мембрана выдерживает гидравлическое давление 80...140 кПа.

Щелочная часть заряда представляет собой водный раствор двууглекислой соды (бикарбонат натрия NaHCO_3) и солодкового экстракта. Кислотная часть заряда – смесь серной кислоты H_2SO_4 с серноокислым окисным железом, серноокислым алюминием. Для приготовления раствора щелочной части заряда огнетушителя, не замерзающей при температуре -20°C , щелочную часть заряда растворяют в 5 л воды, добавляют к полученному раствору 3 л этиленгликоля и тщательно перемешивают. Для кислотной части заряда берут 320 см^3 технической серной кислоты H_2SO_4 плотностью $1,42 \text{ г/см}^3$. При соединении щелочной и кислотной частей происходит следующая реакция:



Техническая характеристика огнетушителя ОХП-10

Производительность по пене, л	43,5
Полезная вместимость корпуса, л	8,7
Дальность пенной струи, м	6...8
Продолжительность действия, с	60±5
Кратность выхода пены к полезной вместимости	5
Масса огнетушителя с зарядом, кг	14
Масса огнетушителя без заряда, кг	4

Образовавшийся углекислый газ интенсивно перемешивает, вспенивает щелочной раствор и выталкивает его через распылитель наружу. Солодковый экстракт и образующаяся в ходе реакции гидроокись железа $Fe(OH)_3$ повышают стойкость пены.

Корпус огнетушителя периодически подвергают гидравлическим испытаниям в течение 1 мин под давлением 2 МПа. Корпус бракуют при появлении течи, разрывов и отдельных капель.

Осматривают огнетушители не реже одного раза в месяц. В процессе осмотра проверяют наличие пломб, прочищают распылители, протирают корпуса огнетушителей. Состояние огнетушителей отражают в специальном журнале.

Для приведения в действие огнетушителя ОХП-10 необходимо снять огнетушитель с подвеса, прочистить распылитель и поднести к месту загорания, повернуть рукоятку клапана на 180° , перевернуть огнетушитель вверх дном, направить струю пены в огонь.

Углекислотные огнетушители (табл. 15.1) предназначены для тушения небольших загораний всех горючих и тлеющих материалов, а также электроустановок, находящихся под напряжением. В качестве заряда в углекислотных огнетушителях применяют жидкую углекислоту CO_2 , которая в момент приведения огнетушителя в действие быстро испаряется, образуя твердую углекислоту (снег) с температурой $-72^\circ C$.

Углекислотный огнетушитель состоит из стального баллона, в горловину которого ввинчивается запорно-пусковое приспособление – латунный вентиль с сифонной трубкой. Сифонная трубка не доходит до дна баллона на 3–4 мм. В огнетушителях ОУ-2 и ОУ-5 вентиль соединен с диффузором поворотным устройством, а у огнетушителя ОУ-8 – гибким бронированным шлангом длиной 0,8 м [5].

Технические характеристики ручных углекислотных огнетушителей

Марка огнетушителя	Вместимость, л	Масса заряда углекислоты, кг	Масса огнетушителя без заряда и кронштейна, кг	Длина снежной струи, м	Продолжительность интенсивного выхода углекислоты через диффузор (при 120°С), с
ОУ-2	2,0	1,45	5,0	1,5	25...30
ОУ-5	5,0	3,55	10,5	2,0	30...35
ОУ-8	8,0	5,5	15,0	3,5	35...40

Вентиль-запор снабжен предохранительной мембраной, рассчитанной на разрыв при температуре 50°С, что предотвращает чрезмерное повышение давления углекислоты в корпусе огнетушителя (выше 18–21 МПа).

Первичную зарядку углекислотных огнетушителей выполняют заводы-изготовители. На каждом баллоне около горловины штампуют наименование или марку завода-изготовителя, массу баллона, рабочее и испытательное давление (6 и 25,5 МПа), вместимость, номер и клеймо ОТК завода-изготовителя. Вентиль и колпачок огнетушителя пломбируют.

Углекислотные огнетушители, поступившие в эксплуатацию, регистрируют в учетном журнале, где указывают номер огнетушителя, его паспортные данные, дату последней зарядки и массу заряда.

Каждые 3 месяца углекислотные огнетушители взвешивают для проверки на утечку углекислоты. Массу после взвешивания сопоставляют с первоначальной массой заряда, при уменьшении которой на 10% и более огнетушитель следует подзарядить или перезарядить на специальной зарядной станции. Наружный осмотр огнетушителей следует проводить не реже двух раз в месяц. Не реже одного раза в 5 лет баллоны всех огнетушителей, находящихся в эксплуатации, необходимо освидетельствовать на зарядных станциях для определения пригодности их к эксплуатации, осмотреть наружную и внутреннюю поверхности баллонов, провести гидравлические испытания и проверить состояние вентиля.

Для приведения огнетушителя в действие необходимо освободить запор кронштейна и за рукоятку поднести огнетушитель к очагу пожара; вращать маховичок вентиля против часовой стрелки, предварительно направив диффузор так чтобы выбрасываемая из него струя снега попадала в огонь. Наклонять баллон нельзя, иначе продолжительность действия уменьшается.

Нельзя касаться диффузора при работе огнетушителя, чтобы не обморозить руки.

Углекислотно-бромэтиловые и жидкостные огнетушители ОУБ-3А, РУБ-7А, ОЖ-7 (табл. 15.2) предназначены для тушения небольших очагов горения волокнистых и других твердых материалов, а также электроустановок, находящихся под напряжением не выше 380В (кроме жидкостных).

Таблица 15.2

Характеристики углекислотно-бромэтиловых и жидкостных огнетушителей

Марка огнетушителя	Вместимость, л	Масса заряда, кг	Продолжительность действия, с	Дальность струн, м	Масса без заряда и кронштейна, кг
ОУБ-3А	3,2	3,5	40	3...4	2,6
ОУБ-7А	7,4	8,0	40	3...4	4,3
ОЖ-7	7,0	5,0	30...35	6...8	—

Эти огнетушители эффективнее углекислотных в 4 раза, но непригодны для тушения щелочных и щелочноземельных металлов и сплавов на их основе, так как они могут усилить горение, вызвав взрыв. Нельзя ими тушить киноплёнки и вещества, которые горят без доступа воздуха.

Эти огнетушители представляют собой цилиндрические стальные баллоны сварной конструкции, состоящие из обечайки и двух штампованных днищ. В верхней части корпуса вварена горловина, в которую ввернута запорная головка с распыливающей насадкой.

Головка состоит из корпуса, клапана, пружины, штока, накидной гайки, при помощи которой головка присоединяется к корпусу огнетушителя, рычага, ушка и штуцера, в который ввернута сифонная

трубка. Сифонная трубка не доходит до дна баллона на 1,5–3 мм, что обеспечивает практически полный выход заряда из огнетушителя.

Схема огнетушителей ОУБ-3А, ОУБ-7А, ОЖ-7 приведена на рисунке 15.1.

Углекислотно-бромэтиловый огнетушитель (ОУБ-3А, ОУБ-7А) имеет огнегасительный заряд на основе галоидированных углеводородов. Он состоит из 98% (по массе) бромистого этила и 2% углекислоты с добавкой воздуха до давления 0,86 МПа при 20°C.

Углекислота применяется как выталкивающее вещество. Вместо углекислоты можно применять воздух или инертные газы. Бромистый этил не электропроводен и обладает высокой смачивающей способностью. Он является летучей жидкостью, так как имеет низкую температуру кипения (+38°C). Работа заряда обеспечивается в диапазоне температур от –60 до +55°C.

В качестве смачивателя жидкостного заряда огнетушителя ОЖ-7 могут быть использованы различные поверхностно-активные вещества: сульфонат (керосиновый), сульфол, некаль, детергент ДС-РАС, пенообразователь ПО-1, а также вещества ОП-7 и ОП-10, применяемые для тушения загораний спирта, ацетона и других гидрофильных горючих жидкостей.

Чтобы обеспечить выброс заряда в любых температурных условиях, в огнетушители ОЖ-7 нагнетают воздух под давлением до 0,9 МПа, что усложняет условия их эксплуатации и является существенным недостатком. При изменении температуры окружающей среды давление в баллоне ОЖ-7 и ОУБ изменяется. Кроме того, пары бромистого этила обладают токсичностью, а в смеси с воздухом могут образовывать взрывоопасные концентрации. Поэтому при работе

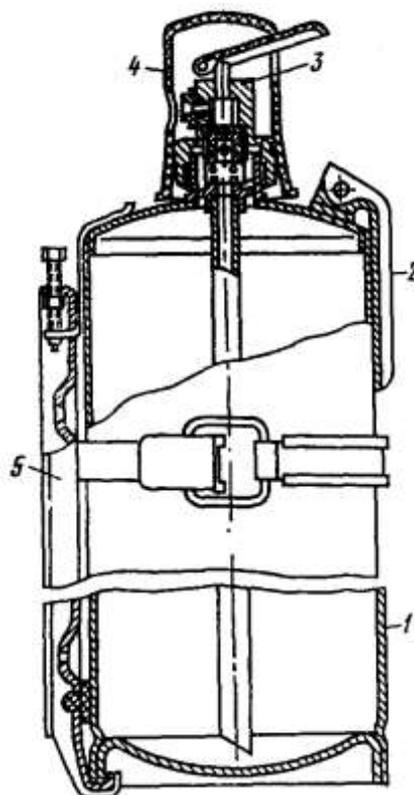


Рис. 15.1. Схема углекислотнобромэтилового огнетушителя:

1 – корпус; 2 – рукоятка; 3 – головка;
4 – колпак; 5 – кронштейн для подвески

с такими огнетушителями необходимы меры предосторожности, их безопаснее применять в открытых установках, а не в помещении. Огнетушители следует периодически испытывать на прочность гидравлическим давлением.

Порошковые огнетушители ручные ОП-1 («Момент»), «Турист-2», ОПС-6, ОПС-10, передвижной ОППС-100 применяют для тушения щелочных и щелочноземельных металлов и их сплавов, малых очагов разлившегося горючего, электроустановок, находящихся под напряжением до 380 В.

Схема огнетушителя ОП-1 («Момент») приведена на рисунке 15.2.

В качестве огнегасительного заряда используют порошок ПСГ-2, П-1А или ПСБ. Первый порошок предназначен для тушения легко воспламеняющихся жидкостей и газов, второй – тлеющих материалов.

Состав ПСБ нетоксичен и не оказывает вредного воздействия на материалы. Он состоит из кальцинированной соды, графита, стеаратов железа, алюминия и стеариновой кислоты.

Благодаря этому его можно применять в сочетании с распыленной водой и пенами для тушения на всех видах транспорта.

Подача порошкового состава ПСБ может осуществляться под давлением углекислоты, воздуха, других инертных газов, а также за счет гравитационных сил.

При работе ОП-1 образуется плотное порошковое облако, которое быстро подавляет пламя. При тушении загорания огнетушитель следует взять за корпус у дна, снять с кронштейна, поднести ближе к очагу, но не далее 1 м, ударить головкой о твердую поверхность и направить струю порошка на горящий предмет под основание пламени, чтобы обеспечить наилучшие условия тушения. Во время тушения держать огнетушитель в вертикальном положении (вверх дном) или близком к нему. При работе огнетушителя необходимо предохранять

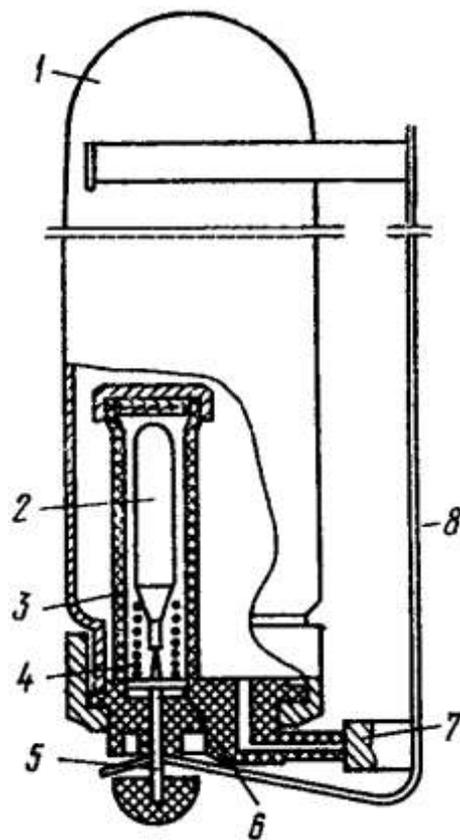


Рис. 15.2. Схема огнетушителя ОП-1 «Момент»: 1 – пластмассовый корпус; 2 – баллончик с углекислотой; 3 – стакан; 4 – пружина; 5 – запорно-ударный механизм; 6 – резиновое кольцо; 7 – насадка с полиэтиленовым колпачком; 8 – кронштейн

органы дыхания и глаза от попадания порошка. Продолжительность действия огнетушителя – не менее 10 с.

Огнетушитель воздушно-пенный типа ОВП-100.01 предназначен для тушения очагов пожаров классов А (горение твердых материалов органического происхождения: дерева, бумаги, ветоши и т.п., при горении которых образуются угли) и В (горение жидкостей или твердых тел; нефтепродуктов, масел, красок и т.п., превращающихся в жидкости).

Огнетушитель не может быть применен для тушения веществ, горение которых происходит без доступа воздуха (хлопок и т.п.), горящих металлов (щелочных – натрий и др. и легких – магний и др.), а также электроустановок, находящихся под напряжением.

Техническая характеристика ОВП-100

Объем корпуса полный, л	100+2
Количество огнетушащего состава (заряда), л	90±2
Количество пенообразователя ПО-1, л	5+0,4
Дальность струи пены, м	6
Продолжительность действия (при температуре от 5 до 50 °С), с	60–90
Производительность огнетушителя по пене, м ³	6,3
Масса огнетушителя с зарядом, кг	160
Рабочее давление в корпусе огнетушителя (при работе), Мпа	0,8
Предохранительное устройство корпуса огнетушителя	
Тип	Пружинный
Предел срабатывания, МПа	0,85.. .0,95
Вместимость баллона с двуокисью углерода, л	2±0,1
Габарит (длина, ширина, высота), мм	800×650×1150

Принцип работы огнетушителя ОВП-100, изображенного на рисунке 15.3, основан на создании избыточного давления в его корпусе двуокисью углерода, которая подается из баллона с рабочим газом. Под этим давлением заряд поступает в пеногенератор, где распыленная струя, эжектируя воздух, образует на сетке воздушно-механическую пену, которая выбрасывается на очаг пожара. При попадании пенообразователя или пены в глаза их следует немедленно промыть большим количеством чистой воды.

При возникновении пожара следует подвезти огнетушитель к очагу пожара на расстояние 5–6 м и установить его наклонно или вертикально, размотать резиновый шланг и направить пеногенератор на очаг пожара, открыть запорное устройство баллона с рабочим газом до отказа, направить струю пены на ближайший край огня, постепенно углубляясь по мере тушения.

Предохранительный клапан предназначен для сброса газа из сосуда, когда давление в нем превышает допустимое (рис. 15.4). Предохранительный клапан 5 установлен в крышке сосуда и должен быть опломбирован (рис. 15.3).

Клапан проверяют не реже одного раза в 6 месяцев. Испытание и тарировку клапана проводит лицо, прошедшее специальный инструктаж по безопасности обслуживания стенда и тарировке клапана. Для испытания нужно вывернуть клапан из крышки огнетушителя и кисточкой прочистить прокладку, вернуть клапан в испытательный стенд; отвернуть крышку клапана; подать воздух под клапан; путем вкручивания или выкручивания отверткой фиксатора регулировать сжатие пружины по показанию манометра из расчета срабатывания клапана при давлении 0,8–0,9 МПа.

В сельской местности противопожарный и хозяйственный водопроводы обычно объединяют. Расчетный расход воды Q (в кубометрах или тоннах) из гидрантов на тушение одного пожара подсчитывают по формуле

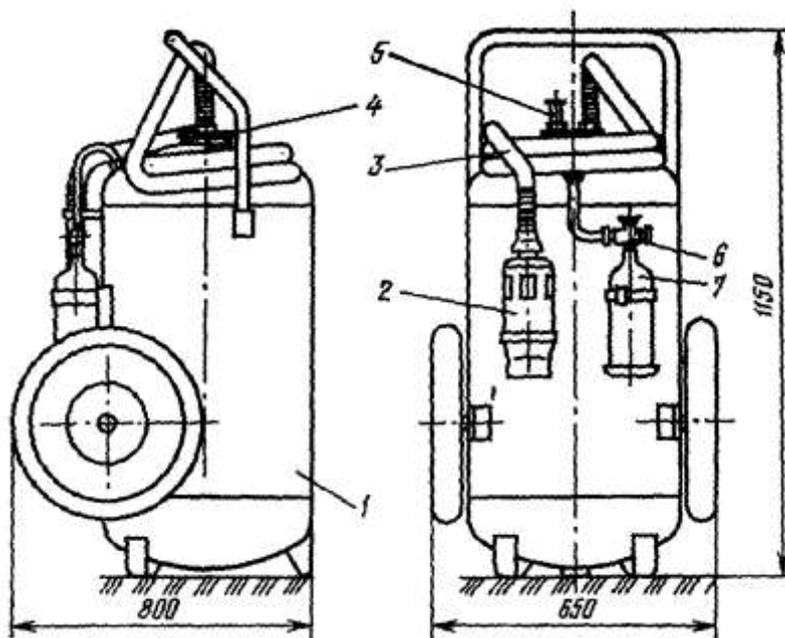


Рис. 15.3. Воздушно-пенный огнетушитель ОВП-100:

1 – корпус; 2 – пеногенератор; 3 – резиновый шланг; 4 – крышка; 5 – предохранительный клапан; 6 – запорное устройство; 7 – баллон с углекислым газом

$$Q = 3,6(q_H + q_B),$$

где 3,6 – коэффициент перевода литров в кубометры и часов в секунды; q_H и q_B – удельный расчетный расход воды соответственно на наружное и внутреннее тушение пожара, определяемый по приложениям П-24 и П-25, л/с; $t = 3$ ч – расчетная продолжительность пожара.

Расчетное число пожаров на промышленном или сельскохозяйственном предприятии зависит от занимаемой им площади (до 150 га – 1, более 150 га – 2). При этом расчетный расход надо брать для каждого из пожаров по зданию, требующему наибольшего расхода воды на наружное тушение. Когда большое здание делится на части противопожарными стенками, удельный расход на наружное тушение пожара принимают по той части, для которой он получается наибольшим, если считать эту часть за самостоятельное здание [5].

Пример 1. Определить расчетный расход воды на тушение пожара в цехе сеной муки объемом $ABh_{СТЕН} = 15 \text{ м} \cdot 10 \text{ м} \cdot 7 \text{ м} = 1050 \text{ м}^3$, который помещается в отдельном здании с несгораемыми основными элементами.

Решение. Здание – I степени огнестойкости, производство в нем – категории Б. Находим удельный расход на наружное и внутреннее тушение пожара: $q_H = 10$ л/с; $q_B = 2 \cdot 2,5$ л/с = 5 л/с. Как указывалось выше, $t = 3$ ч. Тогда

$$Q = 3,6(10 + 5) \cdot 3 = 152 \text{ м}^3.$$

Высоту одиночного стержневого молниеотвода определяют по формуле

$$h \geq r_x \frac{2}{3} + \frac{h_x}{0,92}, \quad (15.1)$$

где h_x – высота защищаемого объекта в самой удаленной от молниеотвода точке, м; r_x – расстояние от молниеотвода до самой удаленной от него точки объекта на высоте h_x , м [1].

Если молниеотвод установлен на коньке защищаемого прямоугольного здания в плане (в середине здания), то расчет по этой формуле делают дважды: один раз – при r_{x1} , равном половине длины здания $A/2$ и высоте h_{x1} , равной высоте конька над землей (полагаем, что конек вдоль всего здания имеет одинаковую высоту), а второй раз – при r_{x2} , равном расстоянию до угла здания в плане:

$$r_{x2} = \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + r_{x1}^2},$$

где B – ширина крыши здания) высоте угла крыши (стены) над землей h_{x2} , м. Из двух полученных результатов надо принять больший.

Если здание длинное, на нем целесообразнее разместить вместо одного длинного 2 или более стержневых молниеотводов покороче, каждая соседняя пара которых образует двойной стержневой молниеотвод. Расчет высоты таких молниеотводов начинают с использования формулы (15.1) по условию защиты конца конька и угла здания ближайшим к ним стержнем. Если тот расположен на некотором расстоянии r_{x1} от конца конька, то формулу (15.1) используют также два раза, как и при одиночном молниеотводе, берут большее из полученных значений. Если же последний молниеотвод расположен на конце конька (у торца здания), то $r=0$, а $r_{x1}=0$, $r_{x2}=B/2$ и формулой (15.1) пользуются только при r_{x2} и h_{x2}

Затем проверяют, соблюдается ли соотношение $L/h < 1,5$, где L – расстояние между соседними молниеотводами, м. Обычно L берут одинаковым для каждой пары ближайших один к другому стержней, оно зависит от числа стержней n и от r_{x1} , а определяется по формуле

$$L=(A-2 r_{x1})/(n-1).$$

Если соотношение соблюдается, то h определено. Если же $L/h < 1,5$, то надо определить h еще по двум условиям:

$$h \geq 0,9h_c + L/8 \quad (15.2)$$

и
$$h \geq L/8 + h_{x2}/1,13 + 2r_{cx}/3^*, \quad (15.3)$$

где h_c – наименьшая допустимая высота зоны защиты посередине между стержнями двойного молниеотвода на оси между ними. Она равна высоте конька или высоте вентиляционных и дымовых труб, если они выше конька вблизи середины расстояния между стержнями молниеотвода; r_{cx} – наименьший допустимый радиус зоны защиты посередине между парой молниеотводов (это половина ширины крыши в плане, если стержни на коньке); h_{x2} определено выше.

Пример 2. Здание длиной $L=25$ м, шириной $B=16$ м и высотой конька $h_{x1}=9$ м и стен $h_{x2}=15$ м защищено двумя молниеотводами, расположенными на коньке крыши на расстоянии $r_{x1}=1$ м от торца здания (конек имеет одинаковую высоту вдоль всего здания). Можно принять $h_c = h_{x1}$. Определить высоту h стержней молниеотвода.

Решение.

$$r_{x2} = \sqrt{16/2^2 + 1^2} = 8.06 \text{ м}$$

$$L = \frac{25 - 2 \cdot 1}{2 - 1}$$

$$h_3 \geq 0,9 \cdot 9 + 23/8 = 11.0 \text{ м}$$

$$h_4 \geq 23/8 + 5/1,13 + 2 \cdot 8/3 = 12,6 \text{ м}$$

Принято $h=10,8$ м $L/h=23/10,8>1,5$.

Определяем h по формулам (15.2) и (15.3)

$$h_1 \geq r_{x1} \cdot 2/3 + h_{x1}/0.92 = 1 \cdot 2/3 + 9/0.92 = 10.4 \text{ м}$$

$$h_2 \geq r_{x2} \cdot 2/3 + h_{x2}/0.92 = 8,06 \cdot 2/3 + 5/0.92 = 10,8 \text{ м}$$

Окончательно принимаем $h=12,6$ м, т.е. над коньком

$$\Delta h = h - h_{x1} = 12.6 - 9 = 3.6 \text{ м}$$

Порядок выполнения работы

Изучить по описанию и имеющимся в лаборатории образцам принцип работы и устройство огнетушителей. Проверить взвешиванием сохранность заряда двух образцов огнетушителя ОУ-2 и сделать заключение.

Испытать предохранительный клапан огнетушителя ОВП-100 на испытательном стенде при помощи автомобильного насоса и результаты оформить в виде таблицы.

Результаты испытания предохранительного клапана

Дата освидетельствования	Что проверено и результаты освидетельствования	Разрешенное давление, МПа	Срок следующего освидетельствования

Изучить методику расчета пожарного запаса воды, пожарную классификацию зданий по степени огнестойкости, а также методику определения высоты молниеотводов по настоящему описанию и научиться выполнять необходимые расчеты.

Контрольные вопросы и задания

1. Как подразделяются огнетушители по виду огнегасительного заряда?
2. Покажите на разрезе основные части огнетушителя ОХП-10.
3. В каких случаях нельзя пользоваться огнетушителем ОХП-10?
4. Как привести в действие огнетушители ОХП-10, ОУ-2, ОП-1, ОБП-100?
5. Как проверить сохранность заряда огнетушителя ОУ-2?
6. Каково назначение огнетушителя ОП-1 («Момент»), огнетушителя ОВП-100?
7. Как испытывают предохранительный клапан огнетушителя ОВП-100?
8. Как определить пожарный запас воды?
9. К какой пожарной категории относится производственный процесс на мельнице, в гараже, электрическом распределительном устройстве напряжением выше 1000В?
10. Чем характеризуются I и V группы зданий по огнестойкости?
11. От чего зависит удельный расход воды на тушение пожара?
12. Как определить высоту стержневого молниеотвода?

Лабораторная работа № 16

«Оказание первой доврачебной помощи при поражении электрическим током»

Цель работы: научиться быстро и квалифицированно оказывать первую доврачебную помощь человеку, пораженному электрическим током; приобрести практические навыки в оценке состояния пострадавшего и оживлении человека из состояния клинической смерти методом искусственного дыхания и наружного массажа сердца с использованием манекена-тренажера.

Содержание работы

1. Ознакомиться с общими положениями и устройством манекена-тренажера.
2. Изучить методы освобождения пострадавшего от электрического тока.
3. Оценить состояние пострадавшего и выбрать метод оказания первой помощи.
4. Произвести практические действия по оживлению-реанимации человека, пораженного электрическим током на манекене-тренажере методом искусственного дыхания способом «изо рта в рот» с наружным массажем сердца.

Общие положения

Первая помощь при поражениях электрическим током состоит из двух этапов: освобождение пострадавшего от действия тока и оказание ему доврачебной медицинской помощи. При этом основными условиями успеха являются быстрота и правильность действий, что зависит от знания и умения, спокойствия и находчивости оказывающего помощь. Такие навыки вырабатываются специальной подготовкой.

Первую помощь следует оказывать немедленно и по возможности на месте происшествия. Наилучший эффект достигается в тех случаях, когда с момента остановки сердца прошло менее 4 мин, промедление может привести к гибели пострадавшего. При поражениях электрическим током смерть часто бывает клинической (мнимой), поэтому никогда не следует отказываться от оказания помощи пострадавшему и считать его мертвым, даже если у него отсутствуют видимые признаки жизни: дыхание, сердцебиение, пульс. Процесс

жизнедеятельности может проходить на очень низком уровне до полной остановки сердца. Первую помощь следует оказывать пострадавшему всегда, а вынести заключение о его смерти имеет право только врач.

Известны случаи, когда пострадавшие были возвращены к жизни через 3–4 и даже 11–20 ч после проведения непрерывных мер – искусственного дыхания и массажа сердца.

При своевременном и правильном оказании первой помощи оживает около 90% людей, пораженных электрическим током и имеющих нарушения дыхания и кровообращения. Однако из-за промедлений и ошибочных действий в практике только около одной трети пострадавших возвращают к жизни. Каждый работник предприятия должен уметь правильно оказывать первую помощь пострадавшим. При обучении оказанию первой помощи наиболее эффективно использовать манекены-тренажеры.

Основные данные о манекене-тренажере

Манекен-тренажер предназначен для обучения практическим навыкам проведения искусственного дыхания способом «изо рта в рот» и наружного массажа сердца при оказании первой медицинской доврачебной помощи в случаях поражения электрическим током, отравления, утопления и т.п.

Габаритные размеры – 170×500×350 мм, масса – 20 кг.

Напряжение питания пульта управления – 220 В, цепей управления – 12, 24 В.

Мощность, потребляемая пультом управления – не более 50 ВА.

Сопротивление изоляции электрических цепей – не менее 0,5 МОм.

Манекен имеет следующие механизмы: дыхания, непрямого массажа сердца, поворота головы и глаз (изменение величины зрачка), подъема грудной клетки, пульса в груди, пульса на шее, пульса на руке, ритм дыхания.

Требования безопасности. Металлический корпус пульта перед включением в сеть должен быть заземлен через клемму «Земля». Для обеспечения электробезопасности выбрано напряжение 12 В. Полость рта манекена должна дезинфицироваться с применением марлевой повязки.

Подготовка к работе. Манекен и пульт должны находиться на ровной твердой поверхности на высоте 0,4–0,7 м от пола. После наружного осмотра манекена и пульта при отсутствии механических

повреждений заземлить пульт, соединить штепсельный разъем шлангового провода и включить пульт в сеть 220 В.

Проверка исправности механизмов манекена производится преподавателем или учебным мастером перед занятиями.

Механизм дыхания проверяется вдвуханием воздуха в рот при откинутой до упора голове и зажатом носе по сигнальной лампе *Давление нормальное*.

Наружный массаж сердца – нажатием на грудину по сигнальным лампам *Нормально* и *Больше*.

Поворот головы – вращением ее на 90° от положения лицом вверх.

Механизм глаз – включением соответствующего тумблера на пульте (устанавливается зрачок большего или меньшего размера).

Механизм подъема грудной клетки – включение тумблера на пульте – грудь должна ритмично подниматься и опускаться.

Пульс в груди, на шее и руке – включение соответствующих тумблеров на пульте.

Механизм ритмов дыхания и пульса включается автоматически при проверке исправности механизмов дыхания и наружного массажа сердца – начинают мигать соответствующие лампы на пульте с оптимальными частотами пульса и дыхания.

Освобождение пострадавшего от действия электрического тока

При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия тока, так как от продолжительности этого действия зависит тяжесть электротравмы.



Рис. 16.1. Освобождение пострадавшего от действия тока путем отключения электроустановки

Если произошел несчастный случай при эксплуатации электроустановок, для освобождения пострадавшего должно быть незамедлительно произведено снятие напряжения. Отключается часть установки, которой касается пострадавший, с помощью выключателей, рубильника или другого отключающего аппарата (рис. 16.1), а также снимается напряжение путем снятия или вывертывания предохранителей (пробок), разъема штепсельного соединения.

Если пострадавший находится на высоте, следует принять меры, предупреждающие падение его при освобождении от тока.

Следует предусмотреть меры по обеспечению освещения помещений без естественного света при отключении электроустановок с учетом взрыво- и пожароопасности помещений.

Напряжение до 1000 В. При невозможности отключить электроустановку или привод напряжением до 1000 В для освобождения пострадавшего следует воспользоваться сухим канатом, палкой, доской или каким-либо другим предметом, не проводящим электрический ток (рис. 16.2).

Можно оттянуть пострадавшего от токоведущих частей, взявшись за его одежду. Если одежда сухая и отстает от тела, например, взять за полы пиджака, пальто, воротник, избегая при этом прикосновения к телу пострадавшего, его обуви, которая может оказаться токопроводящей от загрязнения, наличия в ней гвоздей и т.п. Следует действовать одной рукой.

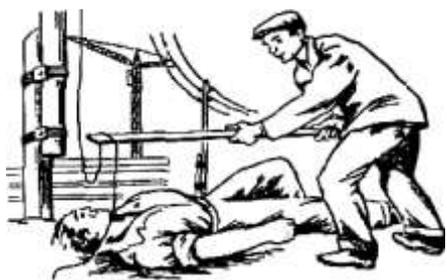


Рис. 16.2. Освобождение пострадавшего от действия тока в установках до 1000 В отбрасыванием провода доской



Рис. 16.3. Освобождение пострадавшего от действия тока в установках до 1000 В оттаскиванием за сухую одежду

При необходимости прикоснуться к телу пострадавшего, не покрытому сухой одеждой, надо надеть на руки диэлектрические перчатки или обмотать их сухой тканью (шарфом и т.п.), натянуть на руки рукава пиджака или пальто и т.п. (рис. 16.3).

Можно также изолировать себя от земли или токопроводящего пола, надев галоши или встав на сухую доску или другие предметы, не проводящие электрический ток.

Если пострадавший судорожно сжимает рукой провод, находящийся под напряжением, то разжимают каждый палец в отдельности с помощью диэлектрических перчаток. Можно также прервать цепь

тока, отделив пострадавшего от земли (подсунуть под него сухую доску, оттащить за одежду или за ноги), соблюдая меры безопасности.

Можно перерубить провода топором с сухой деревянной рукояткой или перекусить их инструментом с изолированными рукоятками пофазно, при этом рекомендуется стоять на сухих досках, деревянной лестнице, резиновом коврик и т.п.



Рис. 16.4. Освобождение пострадавшего от действия тока в установках свыше 1000 В отбрасыванием провода изолирующей штангой

Напряжение выше 1000 В. Для отделения пострадавшего от токоведущих частей необходимо надеть диэлектрические перчатки, боты и действовать штангой или изолирующими клещами, рассчитанными на напряжение данной электроустановки или линии (рис. 16.4).

Применение диэлектрических бот необходимо для защиты от шагового напряжения, если токоведущая часть (провод и др.) лежит на

земле. Пострадавшего необходимо вынести из этой зоны после освобождения от токоведущих частей. При отсутствии возможности быстро отключить линию электропередачи из пунктов питания производят (вызывают) автоматическое отключение созданием искусственного режима короткого замыкания путем наброса на провода гибкого неизолированного провода достаточного сечения, чтобы он не перегорел при прохождении через него тока короткого замыкания. Наименьшее сечение замыкающего провода (по меди) для линий до 1000 В должно быть 16 мм^2 и для линий свыше 1000 В – 25 мм^2 .

Перед набросом один конец провода заземляется путем присоединения к металлической опоре, ее заземляющему спуску, а на другой свободный конец провода прикрепляется груз для удобства заброса. Провод набрасывают осторожно, чтобы он не коснулся людей. Если пострадавший касается одного провода, то часто достаточно заземлить только этот провод.

Первая помощь пострадавшему от действия электрического тока

После освобождения пострадавшего от действия электрического тока необходимо оценить его состояние. Первая помощь оказывается немедленно после освобождения от действия тока здесь же на месте, если нет угрожающей опасности пострадавшему или людям, оказывающим помощь.

Во всех случаях поражения электрическим током необходимо вызвать врача, независимо от состояния пострадавшего.

Для определения состояния пострадавшего необходимо уложить его на спину и проверить наличие дыхания и пульса.

Наличие дыхания определяется на глаз по подъему и опусканию грудной клетки. Проверка пульса (наличие в организме кровообращения) осуществляется на лучевой артерии руки, а если он здесь не обнаруживается, то его следует проверить на сонной артерии, на шее с правой и левой сторон выступа щитовидного хряща – адова яблочка. При отсутствии кровообращения глазной зрачок бывает расширенным (0,5 см в диаметре и более).

Если пострадавший в сознании с устойчивым дыханием и пульсом, но до этого был в обмороке, его следует уложить на подстилку из одежды, расстегнуть одежду, стесняющую дыхание, обеспечить приток свежего воздуха, растереть и согреть тело и обеспечить полный покой.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с устойчивым дыханием и пульсом (кровообращением), его следует удобно уложить на подстилку, расстегнуть стесняющую одежду, обеспечить приток свежего воздуха, поднести к носу вату, смоченную нашатырным спиртом и опрыскивать лицо холодной водой.

При возникновении у пострадавшего рвоты необходимо повернуть его голову и плечи набок для удаления рвотных масс.

Если пострадавший придет в сознание, то следует дать ему выпить 15–20 капель настойки валерьяны и горячего чая.

Пострадавшему нельзя позволять продолжать работу или двигаться, не следует его раздевать, так как это может привести к ухудшению состояния здоровья.

Если пострадавший дышит очень редко и судорожно, но у него прощупывается пульс, необходимо сразу же делать искусственное дыхание.

Если у пострадавшего отсутствуют дыхание и пульс, он находится в состоянии клинической смерти.

По истечении периода клинической смерти наступает биологическая (или истинная) смерть, когда в первую очередь начинают погибать наиболее чувствительные к кислородному голоданию клетки коры головного мозга, что является необратимым явлением.

Достоверными признаками биологической (необратимой смерти) являются трупные пятна, окоченение, охлаждение тела до температуры окружающей среды.

Восстановление жизненных функций человека из состояния клинической смерти производится путем искусственного дыхания и наружного массажа сердца. Чем раньше начать меры по оживлению, тем больше вероятность успеха.

При поражении молнией оказывается та же помощь, что и при поражении электрическим током.

Ни в коем случае нельзя зарывать пострадавшего в землю.

Перевозить пострадавшего можно только при удовлетворительном дыхании и удовлетворительном пульсе.

Искусственное дыхание

Искусственное дыхание проводится в тех случаях, когда пострадавший не дышит или дышит плохо (редко, судорожно, как бы со всхлипыванием), а также, если его дыхание постоянно ухудшается независимо от того, чем это вызвано: поражением электрическим током, отравлением, утоплением и т.д.

Наиболее эффективным способом искусственного дыхания является способ «изо рта в рот» или «изо рта в нос», так как при этом обеспечивается поступление достаточного объема воздуха в легкие (за один вдох – до 1000–1500 мл). Выдыхаемый человеком воздух физиологически пригоден для дыхания пострадавшего. Вдувание воздуха производится через марлю, носовой платок, другую неплотную ткань или специальный «воздуховод».

Этот способ искусственного дыхания позволяет легко контролировать поступление воздуха в легкие пострадавшего по расширению грудной клетки после вдувания и опусканию ее в результате пассивного выхода.

Для проведения искусственного дыхания пострадавшего следует уложить на спину, расстегнуть стесняющую дыхание одежду.

Необходимо, в первую очередь, обеспечить проходимость верхних дыхательных путей, которые в положении на спине при бессознательном состоянии всегда закрыты запавшим языком, в полости рта могут находиться рвотные массы, смещенные протезы и т.д. и их необходимо удалить пальцем, обернутым платком или бинтом (рис. 16.5).



Рис. 16.5. Очищение рта и глотки



Рис. 16.6. Положение головы пострадавшего при проведении искусственного дыхания

После этого оказывающий помощь располагается сбоку от головы пострадавшего, одну руку подсовывает ему под шею, а ладонью другой руки надавливает на его лоб, максимально запрокидывая голову (рис. 16.6). При этом корень языка поднимается и освобождает вход в гортань, а рот пострадавшего открывается.

Оказывающий помощь наклоняется к лицу пострадавшего, делает глубокий вдох, полностью плотно охватывает губами открытый рот пострадавшего и делает энергичный выдох, с некоторым усилием вдувая воздух в его рот; одновременно он закрывает нос пострадавшего щекой или пальцами руки, находящейся на лбу (рис. 16.7). При этом надо наблюдать за грудной клеткой пострадавшего, которая поднимается.



Рис. 16.7. Проведение искусственного дыхания по способу «изо рта в рот»

После подъема грудной стенки нагнетание (вдувание) воздуха приостанавливают, оказывающий помощь поворачивает лицо в сторону, у пострадавшего происходит пассивный выдох.

Если у пострадавшего хорошо определяется пульс и необходимо проводить только искусственное дыхание, то интервал между искусственными вдохами должен составлять 5 с (12 дыхательных циклов в минуту). При эффективном искусственном дыхании кроме расшире-

ния грудной клетки могут наблюдаться порозовение кожных и слизистых покровов, выход пострадавшего из бессознательного состояния и появление у него самостоятельного дыхания.

При проведении искусственного дыхания необходимо следить за тем, чтобы воздух не попал в желудок пострадавшего, о чем свидетельствует вздутие его живота. В таких случаях осторожно надавливают на живот между грудиной и пупком. При этом может возникнуть рвота, тогда следует повернуть голову и плечи пострадавшего набок, чтобы очистить его рот и глотку (рис. 16.5).

Если после вдувания воздуха грудная клетка не расправляется, необходимо выдвинуть нижнюю челюсть пострадавшего вперед. Для этого четырьмя пальцами обеих рук захватывают нижнюю челюсть сзади за углы и, опираясь большими пальцами в ее край ниже углов рта, оттягивают и выдвигают челюсть вперед так чтобы нижние зубы стояли впереди верхних (рис. 16.8).

Если челюсти пострадавшего плотно стиснуты, открыть рот не удастся, следует проводить искусственное дыхание «изо рта в нос» (рис. 16.9).



Рис. 16.8. Выдвижение нижней челюсти двумя руками



Рис. 16.9. Проведение искусственного дыхания по способу «изо рта в нос»

В отдельных случаях при отсутствии дыхания и наличии пульса искусственное дыхание можно выполнять и в положении сидя или вертикальном (в люльке, на опоре или на мачте). При этом как можно больше запрокидывают голову пострадавшего назад или выдвигают вперед нижнюю челюсть. Остальные приемы – те же.

Маленьким детям вдувают воздух одновременно в рот и в нос (рис. 16.10). Чем меньше ребенок, тем меньше ему нужно воздуха для

вдоха и тем чаще следует проводить вдувание (до 15–18 раз в минуту, т.е. через 4–3,5 с), вдувания должны быть неполными и менее резкими, чтобы не повредить дыхательные пути ребенка.



Рис. 16.10. Проведение искусственного дыхания ребенку

При появлении первых слабых вдохов следует приурочить проведение искусственного вдоха к моменту начала самостоятельного вдоха пострадавшего.

Искусственное дыхание прекращают после восстановления у пострадавшего достаточно глубокого и ритмичного самостоятельного дыхания.

Наружный (непрямой) массаж сердца

При поражении электрическим током может наступить не только остановка дыхания, но и прекратиться кровообращение, которое необходимо возобновить искусственным путем. Комплекс мероприятий при сочетании искусственного дыхания и кровообращения с наружным массажем сердца называется реанимацией, т.е. оживлением. Признаком остановки сердечной деятельности (остановка сердца или его фибриляция) является появление бледности или синюшности кожных покровов, потеря сознания, отсутствие пульса на сонных артериях, прекращение дыхания или судорожные неправильные вдохи – при этом необходимы реанимационные мероприятия. Для этого пострадавшего немедленно надо уложить на ровное жесткое основание (никаких валиков под плечи и шею подкладывать нельзя) и при одновременном искусственном дыхании проводят наружный (непрямой) массаж сердца, строго чередуя операции.

При наружном массаже сердца производят ритмичное надавливание на грудь (переднюю стенку грудной клетки пострадавшего), от этого сердце сжимается между грудиной и позвоночником и выталкивает из своих полостей кровь, а после прекращения надавливания грудная клетка и сердце распрямляются, и сердце заполняется поступающей из вен кровью.

Если помощь оказывает один человек, он располагается сбоку от пострадавшего и, наклонившись, делает два быстрых энергичных вдувания («изо рта в рот» или «изо рта в нос»), затем поднимается, кладет ладонь одной руки на нижнюю половину грудины (на два

пальца от ее нижнего края) и приподнимает пальцы, а ладонь второй руки кладет поверх первой. При надавливании на грудину помогает наклоном своего корпуса, руки при этом должны быть выпрямлены в локтевых суставах (рис. 16.11–16.13).



Рис. 16.11. Положение оказывающего помощь при проведении наружного массажа сердца



Рис. 16.12. Место расположения рук при проведении наружного массажа сердца

Надавливание следует производить быстрыми толчками, чтобы прогнуть грудину внутрь на 4–5 см с продолжительностью надавливания не более 0,5 с и интервалами между надавливаниями 0,5 с.

В паузах между надавливаниями руки с грудины не снимают, пальцы остаются прямыми, руки – выпрямленными в локтевых суставах.

При оживлении одним человеком на каждые два вдувания производится 15 надавливаний на грудину. За 1 мин необходимо сделать не менее 60 надавливаний и 12 вдуваний, т.е. выполнить 72 манипуляции, поэтому темп реанимационных мероприятий должен быть высоким, без затяжки вдувания – как только грудная клетка пострадавшего расширилась, вдувание прекращают.



Рис. 16.13. Правильное положение рук при проведении наружного массажа сердца и определение пульса на сонной артерии (пунктир)



Рис. 16.14. Проведение искусственного дыхания и наружного массажа сердца одним лицом

При участии в реанимации двух человек (рис. 16.15) соотношение «дыхание-массаж» составляет 1:5, т.е. после одного глубокого

вдувания производится пять надавливаний на грудную клетку. В период искусственного вдоха не производить надавливания на грудину для массажа сердца, т.е. необходимо операции по реанимации строго чередовать.



Рис. 16.15. Проведение искусственного дыхания и наружного массажа сердца двумя лицами

При правильных действиях по реанимации кожные покровы розовеют, зрачки сужаются, самостоятельное дыхание восстанавливается. Пульс на сонных артериях во время массажа должен хорошо прощупываться. После восстановления сердечной деятельности при хорошо определяемом собственном (без массажа)

пульсе, массаж сердца немедленно прекращают, продолжая искусственное дыхание при слабом самостоятельном дыхании пострадавшего, стараясь, чтобы естественный и искусственный вдохи совпадали. При восстановлении полноценного самостоятельного дыхания искусственное дыхание также прекращают. При неэффективности реанимации (кожные покровы – синюшно-фиолетовые, зрачки – широкие, пульс на артериях во время массажа не определяется), реанимацию прекращают через 30 мин.

Детям от года до 12 лет массаж сердца производят одной рукой и в минуту делают от 70 до 100 надавливаний в зависимости от возраста, детям до года – от 100 до 120 надавливаний в минуту двумя пальцами (вторым и третьим) на середину грудины. Объем вдоха необходимо соразмерять с возрастом ребенка.

Практическая часть

Практические занятия по реанимации пострадавшего от действия электрического тока проводятся на манекене-тренажере.

Искусственное дыхание «изо рта в рот»

На груди манекена, лежащего на спине, расстегнуть одежду. Установить необходимость проведения дыхания по неподвижному состоянию грудной клетки.

Осмотреть полость рта с целью выявления инородных предметов, препятствующих проведению искусственного дыхания.

Голову манекена повернуть набок, при необходимости удалить инородные предметы.

Голову манекена максимально запрокинуть назад путем подкладывания одной руки под шею с надавливанием другой на лоб, что обеспечивает проходимость дыхательных путей.

Продезинфицировать полость рта манекена этиловым спиртом, положить дезинфицированную марлевую повязку на рот.

Сделать глубокий вдох и затем, плотно прижав свой рот ко рту манекена, (нос закрыть) произвести в него выдох. При этом грудная клетка манекена должна подниматься, а на пульте должна загораться сигнальная лампа «Давление нормальное».

Ритм искусственного дыхания задается на пульте лампой «Искусственное дыхание, ритм». Вдувание воздуха производить через каждые 5 с (12 дыхательных циклов в минуту).

После каждого вдувания рот и нос манекена освобождаются для свободного выхода воздуха из дыхательного механизма. Делается 10 вдуваний.

Наружный массаж сердца

По состоянию пульса (на руке, шее или в груди) и зрачка установить необходимость проведения массажа сердца.

Занять место слева или справа у груди манекена и определить место приложения усилий при массаже посредством прощупывания участка грудной клетки, имитирующего конец грудины – оно находится примерно на два пальца выше мягкого ее конца.

Наложить на найденное место нижнюю часть ладони одной руки, а затем поверх первой руки под прямым углом – вторую руку.

Надавливание следует производить быстрым толчком, слегка помогая наклоном всего корпуса, а руки при этом должны быть выпрямлены в локтевых суставах так чтобы прогнуть грудину внутрь на 4–5 см. При этом на пульте загорается зеленая лампа «Усилие нормальное». После толчка руки остаются в нижнем положении в течение не более 0,5 с, после чего следует слегка выпрямиться и расслабить руки, не отнимая их от груди манекена. При приложении усилия больше нормального на пульте загорается красная лампа «Усилие больше нормы».

Надавливание производится в такт с лампой «Ритм сердца» (один раз в секунду).

Группа обучающихся по указанию преподавателя разбивается на пары. Поочередно один из обучаемых проводит искусственное дыхание, второй – массаж сердца в соотношении 1:5 (один вдох – 5 надавливаний), затем производят реанимацию одним человеком (два вдоха – 15 надавливаний) и т.д.

При обучении одного лица после двух вдуваний производится 15 надавливаний с последующим повторением циклов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание безопасных и здоровых условий труда работников становится все более значимой социально-экономической задачей государственных органов.

В связи со значительными экономическими потерями, вызванными производственным травматизмом профессиональными заболеваниями, возрастает значимость разработки новых методов и средств обеспечения безопасности труда, а также новых подходов в обучении безопасности труда.

Сведения по производственной безопасности, представленные в учебном пособии, дают общее представление об этой сложной, многофункциональной и разноплановой сфере человеческой деятельности, направленной на обеспечение безопасности труда.

Сложившаяся на рынке труда ситуация требует подготовки специалистов, способных реализовать основные принципы охраны труда на различных уровнях производственной деятельности. Низкое качество подготовки рабочих приводит к высокой текучести и нехватке рабочей силы на работах связанных с повышенной опасностью в процессе труда, к снижению трудовых ресурсов в связи с производственным травматизмом и профессиональными заболеваниями.

Добиться успеха в области обеспечения безопасности труда можно, объединив усилия федеральных и региональных образовательных учреждений, муниципальных образований, государственного надзора и контроля, работодателей и работников, их объединений, а также ученых и специалистов для трудной и кропотливой работы во имя сохранения жизни и здоровья работников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безбородов, Ю. Н. Безопасность и экологичность проекта: учебное пособие / Ю. Н. Безбородов, Н. Д. Булчаев, Л. Н. Горбунова. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2015. – 148 с.
2. Бердникова, Л. Н. Медико-биологические основы безопасности: курс лекций / Л. Н. Бердникова; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2018. – 209 с.
3. Горбунова, Л. Н. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / Л. Н. Горбунова, Н. С. Батов. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2017. – 540 с.
4. Долин, П. А. Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов / П. А. Долин. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2012.
5. Орловский, С. Н. Борьба с лесными, степными и торфяными пожарами: учебное пособие / С. Н. Орловский; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2016. – 299 с.
6. Основы промышленной безопасности: учебное пособие: в 2 ч. – Ч. 1 / С. И. Васильев, Л. Н. Горбунова, О. Н. Русак [и др.]. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2009. – 617 с.
7. Панова, З. Н. Защита и безопасность в чрезвычайных ситуациях: лабораторный практикум / З. Н. Панова, М. Г. Неделина; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2017. – 182 с.
8. Русак, О. Н. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О. Н. Русак, К. Р. Малаян, Н. Г. Занько. – Санкт-Петербург: Лань, 2000.
9. Чепелев, Н. И. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / Н. И. Чепелев, А. Н. Ковальчук, Ю. М. Степанов; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2014. – 196 с.
10. Чепелев, Н. И. Надзор и контроль в сфере охраны труда: учебное пособие / Н. И. Чепелев; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2019. – 178 с.
11. Чепелев, Н. И. Основы эргономики и безопасность труда: учебное пособие / Н. И. Чепелев, С. Н. Орловский; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2018. – 255 с.
12. Чепелев, Н. И. Охрана труда в сельскохозяйственном предприятии: учебное пособие / Н. И. Чепелев; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2019. – 318 с.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие

Чепелев Николай Иванович

Горбунова Любовь Николаевна

Электронное издание

Редактор Л.Э. Трибис

Подписано в свет 02.10.2020. Регистрационный номер 303
Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117
e-mail: rio@kgau.ru